



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN FUNDAMENTADAS EN LA TECNOLOGÍA SIN ZANJAS

Fredy Estuardo Viana Vidal
Asesorado por el Ing. Jorge Mario León

Guatemala, octubre de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN FUNDAMENTADAS
EN LA TECNOLOGÍA SIN ZANJAS**

TRABAJO DE GRADUCACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

FREDY ESTUARDO VIANA VIDAL

ASESORADO POR EL ING. JORGE MARIO LEÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2004

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN FUNDAMENTADAS
EN LA TECNOLOGÍA SIN ZANJAS**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil con fecha 13 de julio de 2004.

Fredy Estuardo Viana Vidal

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO: Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I: Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II: Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III: Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV: Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V: Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO: Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO: Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR: Ing. Eduardo Ramírez Saravía
EXAMINADOR: Ing. Rolando Vargas Oliva
EXAMINADOR: Ing. Guillermo Melini Salguero
SECRETARIO: Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

AGRADECIMIENTOS

- A DIOS Y A LA VIRGEN MARÍA
- A MIS PADRES
- A TODA MI FAMILIA
- A LA USAC Y A LA FACULTAD DE INGENIERÍA
- A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VIII
GLOSARIO	X
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XX
1. TECNOLOGÍA SIN ZANJAS	
1.1 Definición	1
1.2 Desarrollo e historia	2
1.3 Asociación Internacional de Tecnología sin Zanjas (ISTT)	6
1.4 Beneficios al público	8
1.4.1 Urbanísticos	8
1.4.2 Ambientales	10
1.4.3 Residenciales y comerciales	13
1.4.4 Económicos	15
1.4.4.1 Tráfico	17
1.4.4.2 Ambiente	19
1.4.4.3 Industria y comercio	20
1.4.4.4 Ciudadanía y sociedad	20
1.5 Legislación sobre seguridad y caminos	21

1.5.1	Acta de caminos nuevos y trabajos en calles 1991	24
1.5.2	Estándares internacionales	26
1.5.3	Ley ambiental	27

2. TÉCNICAS PARA UNA NUEVA INSTALACIÓN

2.1	Berbiquí	29
2.2	Perforación dirigida	32
2.3	Taladro guiado	36
2.4	Perforación por impacto	40
2.5	Perforación por surco	44
2.6	Zanjeo estrecho	47
2.7	Tubería insertada	51
2.8	Taladro por impulso	53
2.9	Tubo hidráulico	56
2.10	Micro-tunelar	59

3. TÉCNICAS PARA UN REEMPLAZO EN LÍNEA

3.1	Reventar la tubería	65
3.1.1	Reventón neumático de la tubería	66
3.1.2	Reventón hidráulico de la tubería	68
3.1.3	Envarillar (<i>rodding</i>)	70
3.2	Rajar la tubería	73
3.3	Tirar de la tubería	75
3.3.1	Sistema Bullit	75
3.3.2	Sistema SADE (extractor)	76

3.3.3	Sistema Excalibur	76
3.4	Come tubo	78

4. TÉCNICAS PARA RENOVAR UNA LÍNEA DE TUBERÍA

4.1	Sistema revestimiento ajustado	83
4.1.1	Sistema Die drawing	85
4.1.2	Sistema Rolldown	87
4.1.3	Sistema Tubo deformado	88
4.1.3.1	Revestimiento arrugado industrial	89
4.1.3.2	Revestimiento arrugado en sitio	91
4.1.3.3	Forro Nupipe	92
4.1.3.4	Forro a un tubo de servicio	93
4.2	Sistema de revestimiento deslizante continuo	94
4.3	Revestimiento curado en la tubería	96
4.4	Forro inconexo	99
4.4.1	Revestimientos GRP/GRC	101
4.4.2	Revestimientos plásticos	102
4.4.3	Moldeado	102
4.4.4	<i>Interline</i>	103
4.5	Ferro-cemento	104
4.6	Revestimiento por segmentos	106
4.7	Revestimiento en espiral	108
4.8	Forro espray	110
4.8.1	Revestimiento de cemento	111
4.8.2	Revestimiento de resina epoxica	114

4.8.3	Revestimiento polimérico	116
4.9	Concreto reforzado	117
4.10	Inserción en vivo	119
5.	TÉCNICAS DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO	
5.1	Restregado de aire	121
5.2	<i>Flushing</i>	122
5.3	Limpieza a chorro	124
5.4	Limpieza por cerdas	127
5.5	Raspado a presión	130
5.6	Estabilización química.....	133
5.7	Reparación localizada	135
5.7.1	Sellado de junta	136
5.7.2	Parchado	138
5.7.3	Redondear	139
5.7.4	Reparación robótica	141
5.7.5	Reparación puntual	143
	CONCLUSIONES	147
	RECOMENDACIONES	150
	BIBLIOGRAFÍA	151
	APÉNDICES	153
	ANEXOS.....	163

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Desarrollo de la tecnología sin zanjas	7
2.	Dificultades de las zanjas	18
3.	Equipo berbiquí	29
4.	Plataforma de perforación dirigida	33
5.	Dispositivo de localización	38
6.	Topo de impacto	41
7.	Instalación en el surco	45
8.	Cadena zanjeadora	49
9.	Escudo hidráulico	57
10.	Escudo tunelador	61
11.	Cabeza tuneladora	62
12.	Proceso de reventar la tubería	65
13.	Posicionando una cabeza neumática	67
14.	Cabeza de expansión hidráulica	69
15.	Barras	71
16.	Revestimiento ajustado	83
17.	Forro en forma U	90
18.	Torre de inversión	97

19.	Juntas GRP/GRC	101
20.	Aplicación <i>In Situ</i>	104
21.	Forros prefabricados	106
22.	Previo lechar	107
23.	Forro en espiral	109
24.	Procedimiento de aplicación	112
25.	Forro en espray	114
26.	Sección del forro	118
27.	Descarga de agua	123
28.	Cerdas o balas	128
29.	Unidades de raspado	131
30.	Tubo de concreto trabajado con esta técnica	134
31.	Proceso de sellado de junta	136
32.	Robot de reparación	142
33.	Reparación puntual	144
34.	Entrada a la Antigua Guatemala sin cables	153
35.	Entrada a la Antigua Guatemala	154
36.	Iglesia de San Francisco, sin cables	155
37.	Vista de la Iglesia de San Francisco	156
38.	Trabajadores municipales realizando zanjas	157
39.	Relleno, sin carpeta asfáltica	158
40.	Equipo de protección	163
41.	Equipo de CCTV	164
42.	Cabeza reventadora	176

TABLAS

I	Nueva instalación	161
II	Reemplazo en línea	161
III	Reparación y mantenimiento	162
IV	Renovar una línea de tubería	162
V	Especificaciones técnicas	171
VI	Berbiquí	173
VII	Especificaciones básicas	174
VIII	Especificaciones básicas	175
IX	Serie municipal	177
X	Serie de aplicaciones especiales	177
XI	Serie industrial	178
XII	Accesorios disponibles	179

LISTA DE SÍMBOLOS

BFS	Puzolana de alto horno
°C	Grados centígrados
CCTV	Circuito cerrado de televisión.
CEN	Cuerpo de estándares europeos
EIA	Estudio de Evaluación de Impacto Ambiental
GRC	Concreto de vidrio reforzado (<i>glass reinforced concrete</i>)
GRP	Plástico de vidrio reforzado (<i>glass reinforced plastic</i>)
HPPE	Polietileno de alto rendimiento (<i>High Performance Polyethylene</i>)
ISO	Organización de Estándares Internacionales
ISTT	Asociación Internacional de Tecnología sin Zanjas (<i>International society for trenchless technology</i>)

Km/hr	Kilometro(s) por hora
MDPE	Polietileno de mediana densidad (Medium density polythylene)
OPC	Cemento Pórtland ordinario
PAH_s	Hidro-carbonos aromáticos poli-cíclicos
PE	Polietileno
PET	Polietileno termoplástico
PRC	Concreto reforzado de plástico
PVC	Cloruro de polivinilo
r.p.m.	Revoluciones por minuto
SDR	Radio de diámetro estándar (<i>standard diameter radio</i>)
TBM	Máquina perforadora tuneladora

GLOSARIO

Ángulo de entrada/salida	Ángulo con respecto a la horizontal con que entra o sale del terreno la sarta al formar el túnel piloto.
Berbiquí	Técnica para formar un túnel desde un pozo de lanzamiento a uno de recepción, por la rotación de una cabeza cortadora. El equipo tiene una capacidad de maniobra limitada.
Berbiquí guiado	Término aplicado a un sistema similar al de micro-tunelar, pero el mecanismo guía está en el pozo de conducción.
Cabestrante	Torno colocado verticalmente que se emplea para mover grandes pesos.
Cabeza cortadora	Herramienta o sistema de herramientas que excava un túnel, usualmente por métodos mecánicos.
Corrector de curvas	Sección adicional detrás de la cabeza perforadora que permite correcciones en la conducción al orientar la sarta mediante rotación.

Estabilización química	Trabajo de renovación que implica cerrar la longitud de tubería dañada entre dos accesos, e introducir una o más soluciones produciendo una reacción química, en el suelo vecino a los defectos.
Expansor	Herramienta para engrosar un túnel durante la operación de regreso de la sarta, lo logra más por compresión que por excavación.
Ferro-cemento	Material compuesto de elementos cementantes y acero para formar un revestimiento, ya sea <i>in situ</i> o prefabricado.
Lodo de perforación	Mezcla de agua y usualmente bentonita o polímero, bombeada continuamente a la cabeza cortadora para facilitar la remoción de lo perforado, estabilizar el túnel, enfriar la cabeza y lubricar la instalación del tubo.
Flujo	El agua descargada al alcantarillado por fuentes de la superficie, tales como tejados, bodegas, cuadras, agua de lluvia, etc.
Forro o revestimiento	Capa interna que se aplica a un tubo.
Herramienta de inspección	Equipo e instrumentos para determinar la posición de la perforación o realizar investigaciones de sitio.

Infiltración	Agua en el suelo circundante que entra por fisuras o juntas defectuosas a la tubería o a sus conexiones laterales.
Inserción en vivo	Instalación de un forro mientras la tubería permanece en servicio.
Inspección interna	Determinar las condiciones de la tubería, ya sea por revisión visual o por el uso de instrumentos a control remoto.
Laterales	Accesorios donde se divide la tubería principal para llevar el servicio a un destino en particular.
Lechar	Relleno del espacio anular entre la tubería existente y el nuevo tubo. También empleado para rellenar los espacios alrededor de laterales y entre tubo y pozo de visita. De igual manera se utiliza para reparaciones locales, mejorar el suelo, etc.
Limpieza a chorro	Limpieza interna de las tuberías utilizando impulsores de agua a alta presión.
Limpieza preparatoria	Limpieza interna de tuberías, especialmente alcantarillados, previa inspección, usualmente con agua a presión y remoción de material donde amerite.

Localizador	Instrumento electrónico utilizado para determinar la posición y la fuerza electromagnética de las señales emitidas desde la sonda transmisora en la cabeza piloto del sistema, en la perforación por impacto o en otros servicios existentes que hayan sido energizados. Algunas veces se le refiere como sistema de camino.
Manga	Tubo instalado como protección externa para la tubería a instalar.
Máquina tuneladora	Máquina circular, mecánica, manejable y con una cabeza rotatoria. Para la instalación de tubería. Puede controlarse a remoto. La presión mecánica es aplicada al material y controlada para proveer un correcto balance con las presiones de la tierra en orden de prevenir hundimientos.
Material de relleno	Suelo, selecto y carpeta de rodadura o acera a reponer luego de cualquier excavación, en orden de restaurar la superficie y soporte estructural para desempeñar cualquiera que halla sido su función original.
Medidor de perforación	Instrumento de inspección que provee información continua simultáneamente a las operaciones de perforación, usualmente a una pantalla en la plataforma.

Ovalidad	Diferencia entre el máximo y mínimo diámetro dividido entre el diámetro nominal en cualquier sección transversal del tubo, generalmente expresada en porcentaje.
Perforación dirigida	Sistema dirigible para la instalación de tuberías, conductos y cables utilizando una plataforma de perforación. Un túnel piloto se realiza con una sarta rotacional y es ensanchado con un rimador, al tamaño requerido para el tubo.
Perforación libre	Perforación de un túnel sin un tubo revestimiento que funcione de soporte o protección.
Pozo de conducción	Pozo de entrada, excavación desde la cual el equipo de tecnología sin zanjas es lanzado para la instalación o renovación de alguna tubería, conducto o cable. Puede incorporar paredes de soporte contra las fuerzas de reacción del suelo.
Pozo de recepción	Pozo de salida, excavación hacia donde el equipo de tecnología sin zanjas es conducido y donde es recuperado luego de la instalación o renovación.
Reemplazo en línea	El resquebrajamiento de una tubería existente y la instalación de un nuevo servicio en la misma línea.

Rehabilitación	Renovación <i>in situ</i> para mejorar el rendimiento y extender la vida de una tubería defectuosa, incorporando la base de la tubería. Corrige debilidades estructurales e hidráulicas.
Reparación localizada	Trabajos de corrección en una tubería, particularmente alcantarillados, para longitudes menores que la distancia entre dos puntos de acceso.
Revestimiento tubo	Tubo que soporta al túnel. Usualmente es una manga de acero, aparte al tubo que prestará el servicio.
Rimador	Cabeza cortadora sujeta al final de la sarta de perforación para engrosar el diámetro del túnel piloto durante la operación de regreso, al instalar el tubo.
Robot	Dispositivo a control remoto con un circuito cerrado de televisión (CCTV), utilizado para reparaciones localizadas tales como: cortar obstrucciones, reabrir conexiones laterales o inyectar resina en las fisuras.
Sarta	Longitud total de varillas de perforación o tubería, juntas pivote etc. en un túnel perforado.

Tecnología sin zanjas

Técnicas para instalar, reemplazar, renovar, inspeccionar, localizar y reparar fugas o desperfectos en tuberías con una excavación mínima de la superficie.

Túnel piloto

Acción de crear el primer paso o agujero (usualmente dirigido), el cual requiere de un rimado en la fase de regresar la sarta. Comúnmente se aplica a Perforación Dirigida, Taladro Guiado y Micro-tunelar.

Zanjeo estrecho

Técnica para excavar una zanja de aproximadamente 50 – 100 milímetros más ancha que el diámetro externo del tubo a instalar. Aunque no es una tecnología sin zanjas, es considerada como una técnica de mínima excavación.

RESUMEN

La tecnología sin zanjas es una práctica relativamente nueva de construir, con una aplicación que empieza a ser importante en los países desarrollados. Consiste en la instalación de líneas de tuberías para agua potable, alcantarillados, gas, además de ductos para cableado de luz, telecomunicaciones y televisión. También abarca técnicas de reparar, renovar, reemplazar y dar mantenimiento a tubería existente que lo necesite, sin romper la superficie y levantar el terreno, únicamente donde sea estrictamente necesario o si método lo requiere.

Para efectuar una nueva instalación existen diferentes técnicas, basadas generalmente en realizar una perforación guía, de un diámetro menor, para luego ensanchar dicho túnel piloto con un rimador que se conduce una o varias veces por él. También son consideradas las técnicas de mínima excavación tales como el zanjeo estrecho, donde se realiza una zanja apenas más ancha al diámetro exterior del tubo a instalar, y perforación por surco.

Renovar una sección de tubería consiste básicamente en proveer un revestimiento o forro interno al tubo defectuoso, logrando así su habilitación de nuevo para un rendimiento satisfactorio. Existen diversos tipos de forro y técnicas de renovarlo, tales como: forro ajustado, forro deslizable continuo, forro inconexo, etc.

Para dar mantenimiento, existen diversos métodos que consisten en pasar agua y cepillos con el fin de raspar y limpiar las tuberías, para reparar grietas, fisuras u otro tipo de desperfectos. Hay técnicas como estabilizar el suelo vecino, sellar las juntas, reparación con robots y reparación puntual entre varias.

OBJETIVOS

General

Dar a conocer esta nueva tecnología y sus ventajas; conseguir, mediante este trabajo de graduación, su dominio básico y lograr su difusión, para que sea considerada como una alternativa para los distintos proyectos de infraestructura que se planean llevar a cabo, tanto por la iniciativa privada como por el sector público.

Específicos

1. Considerar este nuevo método de construcción como una alternativa viable para la solución de problemas.
2. Ser tópicos de dominio general dentro del gremio de los ingenieros civiles y estudiantes de la carrera.
3. Convertir este trabajo de graduación en un documento técnico de consulta sobre las disciplinas que esta tecnología ofrece.
4. Hacer conciencia de las molestias y costos sociales que el zanjear ocasiona al utilizarse para la instalación, renovación o inspección de cualquier tipo de tubería.
5. Proponer una herramienta que permita el cambio o rehabilitación de las tuberías existentes bajo las arterias principales de flujo vehicular, sin el consecuente tráfico que estos trabajos ocasionan al remover la carpeta asfáltica.
6. Acortar los tiempos de construcción gracias a esta tecnología.

INTRODUCCIÓN

Durante el invierno se habla sobre la incapacidad de los alcantarillados y la necesidad de cambiarlos, de la misma manera se puede hablar de cada uno de los servicios. La tarea de instalar y renovar tuberías siempre va acompañada del tema de los gastos en los que se incurre en dicha tarea, costos directos e indirectos son cuantificados para realizar los trabajos, pero el costo social siempre queda relegado, siendo quizá el mayor y el más difícil de cuantificar, además de ser el que nadie asume. Por ende, encontrar un método que reduzca al máximo las molestias y los costos, es fundamental para realizar estos trabajos y la tecnología sin zanjas brinda una serie de técnicas que permiten conseguir lo anterior.

En los países desarrollados como Inglaterra, Japón o Estados Unidos, se ha logrado implementar esta tecnología con resultados más económicos, y menos molestos al público. En los países en vías de desarrollo como Guatemala esta tecnología es para muchos desconocida, así que cuando hay que instalar o renovar algún servicio, se recurre al tradicional trabajo de abrir el terreno, lo cual ocasiona grandes inconvenientes al público en general y es una inversión mayor de tiempo y dinero. Así que el uso de esta nueva tecnología abre nuevos espacios y oportunidades para la instalación de servicios, de todo tipo, que tanto requiere la población en la actualidad.

Técnicas de construcción fundamentadas en la tecnología sin zanjas es una recopilación de los principales métodos constructivos basados en los principios de esta tecnología, tanto para realizar una nueva instalación, un reemplazo o una renovación, como para realizar reparaciones y dar mantenimiento a las líneas existentes, presentándolos de una manera concisa y resumida. Obviamente existen temas que han quedado fuera de la presente investigación, sin embargo, se ha elegido aquellos que por su relevancia era obligatorio incluir. Lo más importante que se persigue es que este trabajo sea una guía sobre la tecnología sin zanjas.

En el primer capítulo se aporta una breve perspectiva histórica sobre el crecimiento y desarrollo que esta tecnología ha tenido en los diversos países que ya la aplican. En los demás capítulos se abarcan técnicas puntuales de cómo realizar una nueva instalación (capítulo 2), un reemplazo en línea (capítulo 3), una renovación (capítulo 4) y dar mantenimiento (capítulo 5). En cada una de ellas se describen uno a uno los pasos a seguir para llevarla a cabo, el país de origen, la maquinaria que se necesita, los datos técnicos, las ventajas y limitaciones de la misma. Así pues, los detalles de cada tema están bien distribuidos entre los capítulos y sus temas.

En 1952, a Albert Einstein se le ofreció la presidencia del Estado de Israel, oferta que rechazó aduciendo ingenuidad en materia política, aunque luego dijo: "Las ecuaciones son más importantes para mí, porque la política es para el presidente, pero las ecuaciones son para la eternidad". Se espera pues que el presente trabajo de investigación no sea sólo para el presente, sino que contribuya a la proliferación de la tecnología en cuestión, para una constante aplicación de la misma en el futuro cercano.

Los ingenieros, gestores, operarios o albañiles y los evaluadores relacionados con el diseño, análisis operación, mantenimiento y rehabilitación de los sistemas de tuberías serán los que mayor valor le darán al presente trabajo.

1. TECNOLOGÍA SIN ZANJAS

1.1 Definición

La tecnología sin zanjas es definida como la técnica a utilizar en la instalación, reemplazo, renovación, inspección, localización y detección de fugas de líneas de tubería con excavación mínima de la superficie del terreno. Es utilizada casi con exclusividad para servicios de utilidad subterránea de un tamaño menor, de alrededor de 1,000 milímetros de diámetro.

El número total de las distintas técnicas de tecnología sin zanjas sobrepasa de cuarenta, pudiéndose las clasificar así:

- Técnicas para realizar una nueva instalación de tubería o cable en un alineamiento donde no existe tubería de antemano.
- Técnicas para realizar un reemplazo en línea, donde la tubería original es reemplazada, con el mismo alineamiento.
- Técnicas de renovación para mejorar la actuación de la tubería.
- Técnicas de reparación y mantenimiento para la rectificación de daño local en longitudes cortas y juntas o accesorios.

No todo el rango de tecnologías sin zanjas y mínima excavación son utilizados con cada uno de los diferentes servicios (agua potable, alcantarillado, gas y cables). En el caso de los cables de electricidad y telecomunicaciones, por ejemplo, sólo se aplican las técnicas para una nueva instalación, esto porque las técnicas para el reemplazo, renovación y reparación no aplican para este trabajo.

1.2 Desarrollo e historia

Aunque el término es relativamente nuevo, el desarrollo de la tecnología sin zanjas se puede decir que comenzó al final de los años setenta en Japón, como resultado de una decisión del gobierno de incrementar la proporción de población urbana provista con los servicios básicos. En Europa occidental y Norte América, no es difícil encontrar datos sobre las tuberías que datan del siglo XIX donde arriba del 90% de la población estaba conectada. Esto contrasta con varias partes de Asia donde otros elementos de infraestructura han superado lejos el de los servicios.

En 1963 el ministerio japonés de construcción resolvió, a través de una serie de programas de 5 años, aumentar la proporción de la población con servicios en un 46% para 1990. Tokio, la capital política y cultural y Osaka la capital comercial e industrial, mostraron la ruta y Osaka es referida constantemente como el lugar de nacimiento del micro-túnel. En las estrechas calles densamente congestionadas de la conurbación, restricciones severas fueron impuestas a la excavación de la superficie. Las zanjas a menudo tienen que ser cubiertas gran parte del día y abiertas sólo por las noches para trabajar. Los constructores no tenían derecho de abrir las calles y los métodos tradicionales de zanjeo se convirtieron no solo prohibitivos, sino imposibles. Bajo estas circunstancias, y con un mercado garantizado para los servicios básicos a través de caños, se dieron varios incentivos para desarrollar nuevos métodos de construcción. Con la ayuda del gobierno japonés, usuarios, manufacturas, contratistas y universidades todos juntos crearon una nueva mini-industria basada en el "*Pipe Jacking*".

Los proyectos fueron diseñados específicamente con una visión de palanquear tubos desde pozos maestros en posiciones que luego funcionan como boca de alcantarilla. Todas las operaciones fueron controladas a remoto sin personas trabajando en la trayectoria. Estas fueron las características de lo que hoy se conoce como el micro-túnel.

En 1980 el ministerio de desarrollo y tecnología de Alemania occidental patrocinó un proyecto de micro-túnel en Hamburgo que fue propuesto por un equipo japonés-alemán. A mediados de los ochenta el micro-túnel era ampliamente usado para la instalación de tubo en Japón, particularmente en Tokio y Osaka donde las condiciones del suelo son favorables. En 1985 sólo habían 15 micro-túneladoras en Europa, todas en la llanura de Alemania del norte donde el estrato uniforme de arcilla favorece la técnica y el mercado de servicios por caño estaba boyante en la pos-guerra en Berlín y Hamburgo. Estas máquinas tempranas, todas usadas con brocas de berbiquí para remover la dañada a través de la nueva línea de tubería instalada.

El progreso ha sido dramático pero existe una larga ruta que recorrer. En Europa occidental unos 11,000 kilómetros de cañería fueron instalados anualmente, con no más de 700 kilómetros (6%) por métodos sin zanja.

El uso de micro-túneles ha sido ampliamente usado para la Instalación de servicios en Singapur y también están siendo utilizados en Australia, Hong Kong y en Medio Oriente. Por la necesidad de reemplazar las tuberías de asbesto cemento instaladas en los setentas y que sufre severos problemas de corrosión por el sulfuro de hidrógeno. En las altas temperaturas ambiente identificadas en Dubai, la tubería de asbesto cemento fue escogida porque se manufactura localmente y fue puesta cuando el sistema de caminos de la ciudad fue modernizado.

En los noventas, con el aumento de la población y el desarrollo de la industria turística, no era políticamente aceptable el desbaratar el tráfico en la superficie y material químicamente resistente era requerido para los servicios debajo de la tierra. La respuesta fue provista por el uso de tubería GRP, para resistir al ataque del sulfuro de hidrógeno, rodeado de concreto para darle la fuerza necesaria que resistiera las fuerzas de palanquear al micro-túnelar.

El ímpetu por desarrollar los métodos sin zanjas en Norte América fue diferente a los impulsos en Japón. El crecimiento de las industrias del petróleo, el gas y sus necesidades de largas líneas de tubería cruzando territorios ambientalmente sensibles, estimularon el uso de la perforación direccional. La necesidad fue, inicialmente, por topos dirigidos para realizar pequeños agujeros piloto bajo obstrucciones mayores como ríos, carreteras y vías de tren, que luego se pueden ensanchar al multi-escariar, con un rimador. La capacidad de conducción se logra por plataformas en la superficie con el mínimo impacto al ambiente y la reducción en el tiempo acostumbrado. Luego, se desarrollaron plataformas más pequeñas para la instalación de servicios de distribución. En 1994 habían más de 700 plataformas operando en Norte América y como 300 en Europa.

Los sistemas sin zanjas para rehabilitación tendieron a desarrollarse primero en áreas donde las industrias pesadas del siglo XIX se establecieron. Aunque no hay vínculo directo entre la edad y la condición estructural de los servicios, no es sorprendente que la necesidad era reconocida en el Reino Unido en los años setenta. La primera necesidad fue determinar la condición de servicios sospechosos, especialmente caños. Grandes avances se han hecho en cámaras CCTV, en miniaturización, con su control remoto y en la habilidad de transferir datos directos al vehículo de control en la superficie.

Sistemas completos robotizados han conseguido encargarse de limpiar, inspeccionar y reparar localmente, todo en una operación.

Para la rehabilitación de longitudes considerables de servicios, tal como entre bocas de alcantarillas en una red de tubería, algunos sistemas han sido desarrollados, para corregir las fallas, como son el forro deslizante, forro curado en la tubería, forro en espiral, forro atomizador, este último ha sido utilizado principalmente en servicios de suministro de agua.

Generaciones futuras identificarán a la tecnología sin zanjas como uno de los más significativos desarrollos en la industria de la construcción. Las tuberías eran canalizadas y la larga era de la construcción con zanjas había comenzado, los canales se hicieron más profundos y más sofisticados cuanto más largos los servicios requeridos a ser instalados bajo tierra, principalmente bajo caminos. Por ende la zanja ha cambiado de ser un beneficio en la colocación de servicios en caminos sin pavimentar, a ser vista como la principal causa de la destrucción de la superficie en caminos con tráfico.

La tecnología sin zanjas es una nueva y poderosa herramienta, pero es más que eso. Cuando se aplicó para obtener el máximo rendimiento de esta nueva forma de pensar, se vió que tenía implicaciones para el cliente (usualmente una utilidad), el diseñador, constructor y el público en general quien sufre el trastorno asociado con los trabajos en caminos. Con esto posible están las personas comprometidas en la investigación y desarrollo y aquellos en el negocio de la manufactura y el suplemento de equipo.

1.3 Asociación Internacional de Tecnología Sin Zanjas (ISTT)

La historia de esta mini-industria a una verdadera escala internacional comenzó en 1985 y fue en ese mismo tiempo que las frases “tecnología sin zanjas” y “sin excavar” empezaron a ser utilizadas. La bien conocida Conferencia en Londres, patrocinada por la institución de ingenieros en salud pública, bajo el título “Sin excavar 85”, estableció la necesidad de una organización que provea el punto focal para esta nueva industria emergente con implicaciones mundiales.

Los delegados en “Sin excavar 85” reconocieron que las herramientas existían para comprometerse en un trato sobre trabajo de servicios básicos con el mínimo de excavación en la superficie. El progreso fue frenado por la falta de conocimiento, la ausencia de registros probados y la inercia que se resiste al cambio. Hubo también conciencia por el ambiente urbano y reconocimiento del masivo costo social del canalizar los servicios básicos.

La necesidad fue satisfecha con la formación de la Sociedad Internacional para Tecnología sin zanjas (ISTT siglas en inglés) que fue fundada como una compañía limitada por garantía en septiembre de 1986.

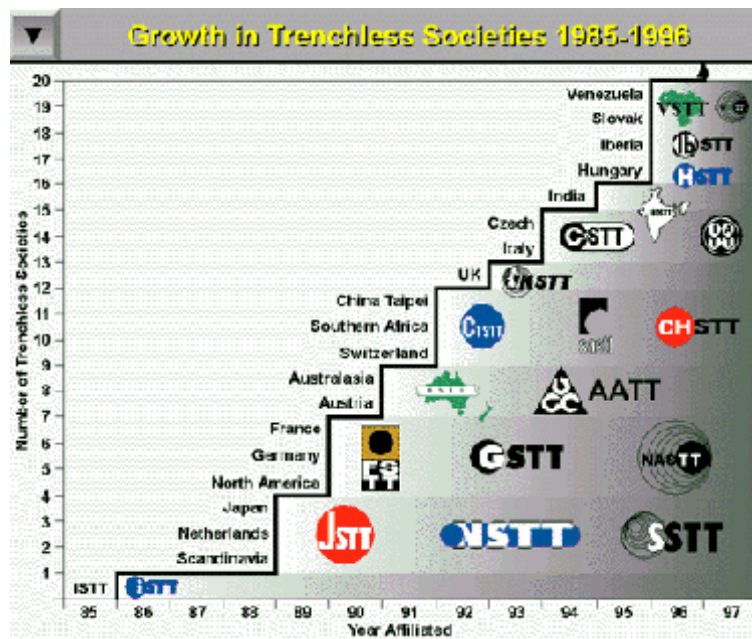
La ISTT motivo la formación de cuerpos con los mismos objetivos, sirviendo en áreas geográficas y afiliados a la Asociación Internacional. Seguido al establecimiento de la ISTT en 1986, sociedades fueron formadas en Japón, en Holanda y Suecia en 1989.

En 1990 sociedades fueron formadas en Alemania, Francia y Norte América (sirviendo a USA y Canadá). En 1991 se vio la formación de la sociedad Australiana (que sirve a la asociación Australiana y a Nueva Zelanda).

En 1992 se formaron sociedades en Taiwán, bajo el título de China Taipei, Suiza y Sudáfrica. La sociedad del Reino Unido siguió en 1993 y en 1994 la asociación italiana y la sociedad de la República Checa fueron instituidas.

1995 vio la formación de la sociedad india y en 1996 la sociedades de Hungría, la península ibérica (Portugal y España), Venezuela y la República Eslovaca.

Figura1. Desarrollo de la Tecnología sin Zanjas



Fuente: ISTT

El crecimiento de las sociedades afiliadas y de los miembros es una forma de ilustrar la historia de la tecnología sin zanjas. Otra es considerando la frecuencia y popularidad de las conferencias y exhibiciones sobre el tema. Éstas han mantenido un alto estándar y son generalmente organizadas conjuntamente entre la ISTT y el cuerpo afiliado apropiado. Trece conferencias han sido realizadas entre la primera conferencia en Londres en 1985 y el evento de New Orleans en 1996. El programa es organizado por la ISTT, generalmente por los siguientes 5 años.

La Sociedad Internacional de Tecnología sin zanjas (ISTT) fue establecida como resultado de una conferencia y exhibición de trabajo, patrocinado por la institución británica de ingenieros de salud pública en Londres (abril de 1985). Esta conferencia fue "NO-DIG 85". Por el excepcional número de delegados y entusiasmo desplegado, se convirtió en necesidad una organización encargada de promover eventos y proveer un punto focal para una nueva industria emergente.

Los objetivos de la ISTT son el avance de la ciencia y práctica de la tecnología sin zanjas para el beneficio público y promover la educación, entrenamiento, estudio e investigación en esta ciencia y práctica.

La tecnología sin zanjas ofrece un número de significantes ventajas sobre el trabajo de zanjeo y una característica clave es la forma en que se reduce el trastorno general al público. Esto se aplica a la actividad pública en áreas tanto comerciales como residenciales y beneficia al público en una manera ambiental.

1.4 Beneficios al público

1.4.1 Urbanísticos

Es reconocido que existen problemas comunes en el desarrollo urbano, aunque con diferentes necesidades inmediatas y prioridades. Concerniente al crecimiento urbano, la realización de autopistas y de servicios esenciales de tipo subterráneos, bajo las mismas, es práctica común que, la demanda de ambos tipos de servicio se vea incrementada rápido y frecuentemente uno adversa, afectando al otro. Los proyectos no fueron previstos para proveer nuevos o extender los servicios actuales; por ejemplo cuando la carpeta de rodadura se deteriora es fácil observarlo pero, en los servicios enterrados el deterioro no se ve hasta que la emergencia surge.

El público en general ha tenido que soportar inconvenientes y considerables resultado de la instalación de los servicios y otros trabajos en las líneas de tubería y cables. En algunos países esta situación ha sido tolerada, con poco agrado por el público que no tiene conciencia sobre las alternativas al hecho de abrir canales y todas las molestias y daños al que se asocia.

En años recientes miembros del gremio de la construcción están gradualmente más concientes de otras maneras de encargarse del trabajo civil de instalar tuberías y cableado sin la necesidad de largos tramos de canales abiertos.

Para áreas residenciales, los métodos sin zanjas acortan el tiempo de construcción, minimizan el impacto ambiental, la interrupción de los servicios, el bloqueo de accesos, el riesgo de accidentes y la posibilidad de daño a edificios.

En áreas comerciales las ventajas principales de usar éstos métodos radican en la reducción de cualquier pérdida de negocios, debido al trastorno en el acceso y a los servicios. La construcción mediante el uso de zanjas puede causar trastornos al comercio e industria. En el caso de instituciones tales como hospitales y aeropuertos, estos bien pueden ser de vital importancia y una solución con tecnología sin zanjas, esencial.

Para organizaciones como hospitales, establecimientos civiles y militares, el trastorno y obstrucción que son causados por el trabajo de zanjeo son inaceptables. Métodos de mínima excavación será la única solución permitida en estas circunstancias. Por ejemplo, la instalación de tubería y cable bajo pistas de aterrizaje donde no es posible el uso de construcción a base de zanjas.

El trabajo de zanjeo puede producir movimiento significativo del terreno que puede afectar adversamente a los edificios contiguos. Las casas de los residentes locales están normalmente en más riesgo de daño debido a los movimientos de tierra junto a los cimientos, humedecer el terreno puede ser necesario para el zanjeo y esto afectar los edificios cercanos por la contracción de la superficie al ubicarse de nuevo. Los edificios históricos son particularmente vulnerables a este problema ya que sus cimientos son con frecuencia poco profundos. Un aprovechamiento de la tecnología sin zanjas en estas situaciones beneficia a la comunidad en general.

1.4.2 Ambientales

La tecnología sin zanjas ofrece varios beneficios ambientales a la comunidad. En mucho se reducen las cantidades de excavación desperdiciada y de material de relleno importado, lo cual reduce el acarreo y desecho.

Esto conlleva un impacto ambiental mucho menor y una mejora en las condiciones para el público. Árboles y plantas pueden ser dañadas por las excavaciones, además de los efectos de la contaminación al agua subterránea, por suciedad. El ruido se da como contaminación cuando se utiliza el tradicional trabajo de zanjeo.

La tecnología sin zanjas puede proveer un número significativo de ventajas a los miembros de una comunidad residencial comparado con el impacto del trabajo de abrir el terreno. Gracias a las técnicas de mínima excavación supone mucho menos remoción y reemplazo del suelo y el tiempo estimado para el trabajo tiende a ser más corto. Esto significa que la duración de la interrupción en los servicios de agua, drenaje, gas, electricidad, teléfono y cable son menores que con trabajo de zanjeo. El vecino experimenta reducción de molestias en su vida cotidiana y existe un riesgo menor de interrupciones no planeadas debido a daño accidental en otras líneas de servicio. La mayoría de cables y tubería están enterrados a no más de un metro de profundidad y la excavación de zanjas las expone. Incluso con una buena planificación y localización de los servicios existentes, hay una mayor posibilidad de daño a un tubo o cable inesperado cuando se usa el trabajo de canalización.

Existe un número de distintas maneras en las cuales la tecnología sin zanjas puede ayudar en parte a conservar y proteger el ambiente en las comunidades locales. Un problema básico con el trabajo de construcción a base de canales para tuberías o cableado se relaciona con las cantidades de desperdicio y de material de relleno de importación. Sólo una parte relativamente pequeña de la sección transversal excavada de la zanja es ocupada por la tubería o el cable.

El remanente de material que ha sido removido debe además ser procesado y recolocado en la zanja o, como es muy común, ser removido del lugar. En ese caso las cantidades de piedrín, selecto importado u otro material debe ser traído al sitio y posicionado en la zanja.

Estos movimientos de material de desperdicio y de relleno en el área tienen implicaciones para ambos: el ambiente y la comunidad local. Camiones son usualmente utilizados en los caminos aledaños para transportar materiales y esto causa polución por el escape de motor como el desperdicio de recursos. Los camiones también representan un incremento en las cargas de tráfico del área y un riesgo potencial de accidentes a la comunidad. Los materiales de relleno como el piedrín, son normalmente excavados de canteras que por sí mismas producen un impacto ambiental adverso al lugar.

El desperdicio excavado debe ser almacenado en algún lugar y de nuevo esto puede ocasionar un problema ambiental, varios países están encontrando dificultad para localizar sitios que funcionen como botaderos de este desperdicio. Gracias a que los métodos sin zanjas no involucran grandes cantidades de desperdicio y relleno, estos ofrecen muy buenos beneficios ambientales.

Otros aspectos del uso de sistemas sin zanjas son las ventajas en términos naturales. Canales excavadas cerca de plantas y árboles pueden causarles daño a sus raíces, tal es el caso de árboles en calles residenciales. Usualmente los árboles toman algún tiempo antes de mostrar signos de haber sido dañados y así pasan años antes de su fallecimiento. Los árboles en áreas urbanas son beneficiosos para la comunidad ya que mejoran las condiciones ambientales, además de ser estéticamente placenteros a las personas.

En general, los métodos sin zanjas causan un menor daño a las raíces de plantas y árboles que el excavar una cuneta.

La contaminación causada por la suciedad, polvo y ruido tienden a ser reducidas cuando los métodos de mínima excavación son usados y esto ayuda a mejorar las condiciones ambientales al público.

1.4.3 Residenciales y comerciales

Los accesos generales con frecuencia son mantenidos cuando las técnicas sin zanjas son utilizadas, esto beneficia a los propietarios. Los lugares destinados al parqueo en las calles residenciales son normalmente restringidos cuando se excavan canales en las áreas urbanas. Esto puede hacer imposible el acceso hacia las casas particulares.

En suma, el trabajo de zanqueo usualmente involucra largas pilas de suelo excavado y material importado. Esto ocupa mucho espacio en las vías y aceras y pueden hacer la situación aún peor. Los sistemas sin zanjas pueden reducir las cantidades de material necesario para rellenar las excavaciones. También, los niveles de suciedad y polvo tienden a ser menores con las técnicas de mínima excavación, las cuales ayudan a guardar la limpieza del interior en las casas.

Por su naturaleza las zanjas son peligrosas al público, aun si las zanjas están resguardadas con barreras de acuerdo con las regulaciones de seguridad, existe la posibilidad que surjan accidentes lamentables. Con frecuencia las barreras alrededor de las zanjas son inadecuadas o han sido movidas por el clima o por vándalos. En esta situación, personas discapacitadas están en riesgo.

Normalmente es mucho más fácil proteger al público de este peligro cuando métodos sin zanjas son utilizados ya que las excavaciones tienden a ser mucho mas pequeñas y discretas.

El tradicional trabajo de excavar zanjas puede afectar adversamente las operaciones comerciales y otras organizaciones vecinas. Las tiendas pueden ser bloqueadas por las zanjas y esto resulta en menos clientes y por consecuencia la pérdida de comercio y ganancias. En áreas donde los clientes normalmente viajan en carro y por los canales en las calles no pueden transitar, compraran en algún otro lugar. Esto podría significar que los clientes permanentes se pierdan en otros comercios que no beneficiarían a la comunidad local.

Los métodos sin zanjas ayudan a eliminar estos problemas por su tendencia a acortar la duración del trabajo y dar un acceso óptimo a los vehículos y a los peatones.

Para otros cuerpos comerciales tales como fábricas e industrias, las interrupciones en los suministros de agua, gas, electricidad y teléfono cobran importancia crítica. Aquí, el uso de métodos de trastorno mínimo para renovar u optimizar estos servicios tienen un alto costo y son mucho más atractivos que las tradicionales zanjas. Donde es vital que las órdenes se hagan realidad , será esencial el uso de sistemas sin zanjas para cumplir futuros compromisos de negocios. En esta líneas toda la comunidad se beneficia del uso de estos métodos.

Los métodos de construcción sin zanjas por definición, envuelven menos superficie dañada que los trabajos tradicionales. Se da un movimiento mucho menor de material de desperdicio, un mínimo debe de ser removido del sitio y mucho menos es requerido para el reemplazo o relleno. En consecuencia esto redundará en la reducida cantidad de excavación y transportación del material, con menos congestión en el lugar y menos tráfico extra en las carreteras del área.

Al eliminar la mayoría de excavaciones asociadas con el zanjeo, la cantidad física de trabajo se reduce y esto generalmente significa un menor tiempo de proyecto. Resultando de esto un periodo más corto de molestias ocasionadas.

Todo trabajo de construcción o rehabilitación subterránea, requiere de una cuidadosa preplanificación e investigación de campo. Como sea, esto es particularmente importante si se va a utilizar un método sin zanjas. Hay muchos beneficios a obtener, pero estos no se maximizarán a menos que el trabajo sea diseñado con esto en mente y se adecue la investigación de sitio.

1.4.4 Económicos

En adición a los costos directos, el público en general se ha vuelto más conciente de los indirectos, o costos sociales nacidos en residentes locales, organizaciones comerciales, usuarios de carreteras y el público en sí. El desarrollo de las alternativas a zanjeo, la orientación mejorada y sistemas de detección han surgido más rápido que el cambio en la práctica de asumir que para poner los servicios bajo tierra automáticamente se necesita una zanja.

El laboratorio de investigación del transporte en el Reino Unido terminó un estudio en 1993 sobre el potencial de reducir los costos indirectos y sociales resultando de la instalación de servicios bajo los caminos.

Tres amplias categorías de costos fueron definidas:

Costos directos, abarcan la planificación, diseño, supervisión, construcción y la desviación de servicios existentes. Son pagados por el usuario.

Costos indirectos, abarcan pagos compensatorios, reducción en la vida del pavimento e incremento en el mantenimiento de caminos. Son pagados en gran parte por el usuario.

Costos sociales, abarcan el trastorno y el atraso del tráfico comercial y privado, pérdida de amenidad e impactos ambientales tales como ruido, contaminación, etc. Son pagados por el público en general.

Algunos puntos del costo social son difíciles de cuantificar, pero está claro el componente más significativo es el costo relacionado con el trastorno del tráfico.

Un punto importante sobre el estudio de los costos sociales de un proyecto están relacionados con el tiempo tomado para completar el trabajo, tanto como el alcance del trastorno de la superficie. La cantidad de desperdicio que necesita ser movido, el material excavado y el material de reemplazo y la restitución, es una indicación del impacto ambiental hecho por los trabajos de construcción. Diez construcciones fueron observadas con detalle en el estudio. Para el Reino Unido el costo social debido al tráfico ha sido estimado en millones.

La conclusión alcanzada fue que los costos sociales son del mismo orden que el de los costos directos. La tecnología sin zanjas es una herramienta valuable en la reducción de costos sociales y directos. Como sea, para maximizar los beneficios de utilizar métodos de construcción sin zanjas, estos tiene que considerarse en la etapas de planificación y diseño.

Para entender por completo los beneficios de la tecnología sin zanjas uno debe tener en consideración como se incurre en costos indirectos.

Si se define por costo indirecto, o costo social, todo “aquel real o virtual en el que se incurre en la ejecución del proyecto, el cual no puede ser incluido o asignado a los costos del proyecto, pero que son asumidos por la sociedad”.

Los costos de proyecto han sido definidos como: “El total de los costos que son la base de la inversión de un proyecto dado”.

Los costos indirectos han sido clasificados en cuatro grupos principales:

- Tráfico
- Ambiente
- Industria y comercio
- Ciudadanía y sociedad

1.4.4.1 Tráfico

- Estorbo al paso del tránsito.
- Probabilidad de daño como resultado de situaciones inseguras.
- Probabilidad de daño como resultado de accidentes.
- Daño por la desviación de las rutas.

El estorbo al tránsito es la parcial clausura del camino, aunque el paso se mantenga y se apliquen señales o luces de tráfico, el conductor puede o no percatarse de la velocidad señalada.

La obstrucción del tránsito significa la clausura total de la ruta y el uso de una desviación. Esto resulta en costos sociales ya que el tráfico tiene que viajar una distancia mayor y esto significa un mayor tiempo.

Figura 2. Dificultades de las zanjas



Las zanjas normalmente causan más situaciones peligrosas que las técnicas sin ellas y existe la posibilidad que los peatones o ciclistas caigan en ellas. Esto puede ocasionar reclamos por daños. La figura 2 muestra como el carril auxiliar del anillo periférico de la ciudad capital, dificulta el tránsito y se corre el riesgo de un accidente.

Lo mismo es válido para detrimentos como resultado de una alta probabilidad de otro tipo de accidentes, los trabajos en la ruta aumentan la probabilidad de accidentes de tránsito. Daños a las rutas de desvío que pueden ser ocasionados ya que estas vías no están diseñadas para la cantidad y tipo del tráfico desviado.

Los percances ocasionados a las rutas de desvío generalmente no son tomados en cuenta cuando se determinan los costos del proyecto.

1.4.4.2 Ambiente

- Perjuicio a plantas y árboles.
- Molestias de ruido producido por la maquinaria.
- Contaminación del aire por las máquinas.
- Extracción de agua subterránea.
- Contaminación del terreno y la superficie del agua.

El daño a plantas y árboles, por ejemplo al cortar sus raíces, es con frecuencia omitido en la operación de los contratos o en los costos del proyecto. Las variaciones en el nivel de agua subterránea (por el drenaje a zanjas abiertas) pueden ocurrir causando algún percance.

Cuando una comparación en un trabajo específico se lleva a cabo entre el método tradicional y las técnicas sin zanjas, el estorbo que produce el ruido y la contaminación del aire por las máquinas, puede variar considerablemente. Lo mismo es válido en consideración con la extracción del agua subterránea.

La probabilidad de accidentes ambientales, tales como goteo de las reservas de combustible, de las máquinas, no siempre es la misma cuando se comparan las dos técnicas, con y sin zanjas.

1.4.4.3 Industria y comercio

- Costos como resultado de la pérdida de ventas en las tiendas situadas al lado de las zanjas.
- Costos como resultado de las pérdidas de producción en industrias.

Pérdida de ventas en las tiendas y comercios (temporalmente no accesibles) puede ocasionar reclamos o pérdidas de ganancia.

Una unidad industrial la cual temporalmente es inaccesible como resultado de una zanja, puede tener pérdidas de producción.

1.4.4.4 Ciudadanía y sociedad

- Un incremento en los costos de mantenimiento de superficies de rodadura en el caso de zanjeo.
- Compensación por daño al camino o a los servicios enterrados.
- Desventaja social como resultado de un retraso en la disponibilidad de la construcción de infraestructura subterránea.
- Molestias al público, ruido por el tráfico.

La técnica tradicional de abrir zanja con frecuencia causa un aumento en los costos de mantenimiento a la capa de rodadura de los caminos después de haber terminado el trabajo. Tal mantenimiento es necesario después del periodo de garantía, estos costos no entran en la suma del contrato original.

Compensación por los daños que puedan ocurrir mucho después que el trabajo haya finalizado, son costos que no son contabilizados como del proyecto.

En una comparación completa entre las técnicas tradicionales de zanjeo y sin zanjas, deben ser contadas las diferentes posibilidades de daño a la infraestructura (enterrada y en la superficie) existente.

La duración en el trabajo determina el momento de disponibilidad de la infraestructura construida. La ventaja social de una temprana disponibilidad de la infraestructura es muy común que no sea tomada en cuenta a la hora de sumar los costos.

Las molestias al público por la excavación incluyen ciudadanos transitando por superficies peligrosas, resbaladizas y accesos obstruidos, además de aguantar un incremento de ruido por los automóviles.

1.5 Legislación sobre seguridad y caminos

Mientras la seguridad dependa en gran parte de la administración del sitio, la calidad de las medidas precautorias y la señalización, reducir el área de trabajo repercute en más seguridad, minimizando los riesgos de accidente.

La protección del público en los sitios de trabajo generalmente significa mantener a las personas fuera del área donde estos se realizan, al proveer temporalmente barreras, caminos peatonales alternos y hasta la desviación vehicular a otros caminos o vías. Hay una inevitable molestia a los residentes locales, a los negocios y al flujo vehicular, el cual se trastorna por varias cuadras.

La buena administración del lugar y la alta calidad en la seguridad y señalización son importantes cualquiera que sea el método adoptado. Si hay una menor superficie de rodadura afectada y un menor tiempo estimado de trabajo, entonces los riesgos por accidente para el público en general son menos. En ambos puntos, los métodos de construcción sin zanjas son preferidos a los tradicionales (en los países desarrollados). La dificultad consiste en como cuantificar estos beneficios y como ellos pueden tomarse en cuenta en las utilidades de la compañía al evaluar los proyectos.

La seguridad de los trabajadores está evidentemente recibiendo mucha atención en la industria de la construcción, aunque en algunos países el récord es bastante pobre. Una de las causas frecuentes de accidentes a operarios es el colapso de zanjas. La necesidad de adecuar el soporte de la zanja ha sido ampliamente reconocido por largo tiempo, pero no siempre se aprecia que no existe necesidad de zanja.

La capacitación de los operarios de cualquier planta es importante y la legislación empieza a introducir en los diferentes países estándares de seguridad muy altos. En una construcción la seguridad es la mayor consideración de diseño y la opción de métodos de construcción con una visión de reducir el riesgo a los trabajadores.

Es necesario implementar legislaciones acordes para regular los trabajos realizados sobre las calles, de manera especial en aquellas de gran circulación. Muchos de los contratiempos que trabajar en estos caminos presenta, han sido solucionados con una ley que los coordine, como es el ejemplo del Reino Unido con el Acta de los caminos nuevos y los trabajos en calles 1991 (*New Roads and Street Works Act 1991*).

Los gobiernos pueden y deben legislar para minimizar los costos sociales o indirectos resultados del levantamiento de las calles y autopistas para instalar o reparar los servicios de naturaleza subterránea. Tales costos caen sobre la sociedad a la larga, en particular, al público que las circula (a pie o en automóvil) constantemente, estos sufrirán retrasos, trastornos o incluso heridas por los trabajos. El interés de la industria sin zanjas en este tema es obvio, una legislación que estimule el uso de estos métodos de construcción no perjudiciales que de paso beneficien a la industria.

Cada uno ha experimentado y ha sido perjudicado con tráfico, con pobres rellenos, daños y malos bacheos. Calcular el costo es difícil, pero indudablemente es millonario. Una ilustración interesante de esto ocurrió en los Estados Unidos cuando el gobierno federal cerró la avenida Pennsylvania en Washington DC por cuestiones de seguridad. La administración federal de caminos acordó pagar al distrito de Columbia \$165,000 por el costo de instalar desvíos de control de tráfico y señales de alivio a la congestión que la clausura ocasionó. Una congresista reclamó que esta suma no representa el costo total, que ella estimó en varios millones de dólares. Esto dado el daño económico al área circundante. Aun permitiendo exageraciones políticas, está claro que el costo al público en general de cerrar una vía principal en Washington es mucho más grande que las sumas ofrecidas por las autoridades federales.

En el presente, para todo el mundo, los retrasos tienen un costo específico. Una persona que deja su oficina para ir a un encuentro media hora antes de lo usual, por los trabajos en el camino que causan bloqueo de tránsito, tiene una media hora improductiva, de desperdicio. No puede cobrar el costo al gobierno central o local, o al contratista responsable de la obra.

1.5.1 Acta de caminos nuevos y trabajos en calles 1991

Ley implementada en Gran Bretaña, por etapas desde 1992. El profesor Michel Horne fue citado para encargarse de revisar el acta.

En este reporte, el profesor Horne fue positivo sobre los beneficios de la tecnología sin zanjas. El identificó su utilidad en las siguiente palabras: “Las técnicas sin excavación pueden ofrecer ventajas financieras en los servicios, pero también en términos de reducir los costos sociales asociados con el convencional trabajo de zanjeo. A nuestro punto de ver, es importante que en los servicios se contabilicen estas amplias ventajas de las técnicas de excavación sin zanjas. En algunos casos, tomando en cuenta estas amplias ventajas se puede sugerir una técnica sin zanja a utilizar, esta pueda no ser la conclusión si sólo los beneficios financieros directos del servicio son considerados”.

Esto fue por tanto esperanzador ya que la oportunidad sería tomada en la legislación para imponer un régimen de fomento a los servicios utilizando métodos más rápidos y menos destructivos, preocupándose así por los trabajos.

En el acta se quiso hacer bastante fácil a las autoridades de caminos, requerir a cualquiera que esté ejecutando trabajos en las calles:

- a) Pagar un honorario, dada la ocupación de la autopista, en función del tiempo tomado para ejecutar los trabajos y del daño causado a la superficie de rodadura por los trabajos.
- b) Pagar los costos incurridos por las autoridades de tránsito al regular temporalmente el tráfico mientras los trabajos son ejecutados.

El problema con estas disposiciones es que la renta de las mismas fue directamente al gobierno central y no a las autoridades locales de caminos que los pudieron haber reinvertido en los mismos caminos. El cuerpo constructor representante de los servicios se opuso fuertemente a ello, sintiendo que los clientes (usuarios de agua, gas, electricidad, etc.) no recibirían con agrado el costo extra añadido a sus facturas.

Estas previsiones por tanto desaparecieron de las legislaturas preliminares y no se encuentran en la ley. La idea fue retomada en marzo de 1995 de nuevo, pero las mismas objeciones fueron hechas.

Esto no significa que el acta hizo nada por estimular los métodos eficientes de entubado, aunque no hay una referencia directa a los sistemas sin zanjas. Por ejemplo:

Medidas de seguridad: el acta impone obligaciones fuertes en seguridad e iluminación de los trabajos en calles, y por ende, un costo directo de esta seguridad e iluminación añadido al hecho de que las señales y signos tienden a ser robados con frecuencia. Los sitios en la vía requieren de menos seguridad e iluminación y por periodos más cortos, con métodos sin zanjas.

Capacitación: el acta requiere que los trabajos realizados en calles sean supervisados bajo personas calificadas y completamente entrenadas. Los métodos sin zanjas son sistemáticos y por lo general necesitan menos supervisión. El dinero es mejor gastado en capacitación para utilizar equipo sin zanjas.

Restitución: previo al acta de 1991 una situación extraordinaria prevalecía por donde quiera solamente se tenía que proveer una restitución temporal de la superficie asfáltica y, más tarde, la autoridad de caminos se encargaba de la restitución permanente. Había frecuentemente un gran retraso entre los dos procesos y la restitución temporal de la capa asfáltica que era con frecuencia muy pobre. Ahora, los servicios tienen la completa responsabilidad de la restitución con las especificaciones prescritas como materiales, maquinaria y métodos, debiendo regresar para reparar cualquier daño y hacerse cargo de los costos. Evitando levantar los caminos al abrir zanjas es la mejor manera de evitar el costo y la responsabilidad de la restitución.

El enfoque tomado por Singapur es interesante ya que la legislación prohíbe el abrir zanjas salvo en los casos muy necesarios y permite cobrarle al contratista por la ocupación del espacio de vía.

1.5.2 Estándares internacionales

Existe la percepción que el uso de métodos sin zanjas es más caro y más riesgoso que el tradicional trabajo de abrir el terreno. Es bien conocido el dicho en computación “nadie es despedido por comprar una IBM”; talvez una expresión similar aplique en este contexto: “nadie es despedido por ordenar el zanqueo”. Este pesimismo quizá termine cuando la tecnología posea un récord mayor.

El trabajo empezado a desarrollar sobre estándares internacionales de renovación de tubería, particularmente en la tecnología de sistemas plásticos de rehabilitación, por la organización de estándares internacionales (ISO) ha organizado comités técnicos especialmente para esto. Al mismo tiempo, el cuerpo de estándares europeos (CEN) a creado comités paralelos de trabajo en los mismos temas. Bajo el acuerdo de cooperación establecida entre ISO y CEN, los estándares realizados dentro de CEN son hechos para el voto paralelo de los miembros de ISO.

1.5.3 Ley Ambiental

Otra manera en la cual la ley puede influenciar el uso de métodos sin zanjas, en la construcción, es en el área ambiental. Muchos países ahora requieren estudios de evaluación de impacto ambiental (EIA) previo al visto bueno del gobierno para aprobar cualquier desarrollo mayor. Por ejemplo, ahora Tailandia requiere los estudios de evaluación de impacto ambiental (EIA) previa las especificaciones del tipo de proyecto a realizar. Ahí los EIA deben incluir una sección sobre los efectos que el proyecto tendrá sobre la calidad de vida de la comunidad local. En Bangkok (destacada por su atascos de tráfico), ha habido procesos a través de la corte por los temas ambientales. La ley ambiental viene siendo más importante y abarca todo conforme el tiempo pasa, y podría bien ser que ella tuviera un impacto en los trabajos sobre calles en el futuro cercano.

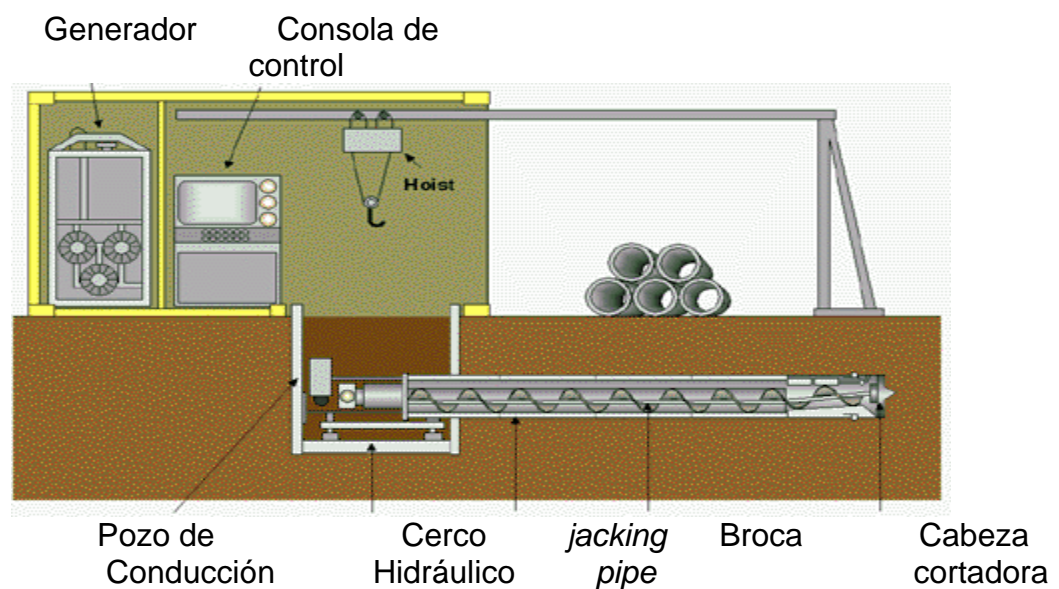
2. TÉCNICAS PARA UNA NUEVA INSTALACIÓN

2.1 Berbiquí

Técnica de origen estadounidense que consiste en la formación de una perforación horizontal bajo algún cruce, utilizando una cabeza cortadora y brocas.

El equipo berbiquí consiste de una cabeza cortadora unida a un barreno o berbiquí helicoidal. La acción rotacional del barreno simultáneamente hace rotar la cabeza cortadora y remueve el suelo excavado del túnel. La broca se encuentra en una envoltura de acero.

Figura 3. **Equipo Berbiquí**



Fuente: **ISTT**

La cabeza cortadora y los berbiquíes son rotados desde el punto de control por una unidad de poder o transmisión. Muchos sistemas berbiquí incluyen equipo de tubería hidráulica, que permite a dicha envoltura ser movida hacia delante conforme la cabeza cortadora avanza. Una vez el recubrimiento ha sido instalado la tubería puede ser insertada.

Estos sistemas generalmente no tienen guía, así que la línea y el nivel del túnel es determinado en la estación de control. La técnica de berbiquí es la mejor a utilizar en suelos cohesivos o en suelos no cohesivos, pero estables. Como sea, el taladro será deflectado de su curso por rocas, obstáculos o suelo suelto. Los sistemas berbiquí guiados han sido desarrollados también, pero estos han tenido un uso limitado. La conducción es lograda por una articulación de la envoltura cerca de la cabeza cortadora, que es controlada por barras desde el punto de control.

También es posible perforar sin una envoltura, práctica conocida como túnel libre. Es utilizada para tuberías de 50 a 150 milímetros de diámetro cuando el daño o riesgo de un colapso sean pequeños. Túneles revestidos pueden ser producidos arriba de 1,500 milímetros, en longitudes arriba de 50 metros.

Ventajas:

- Mínima o nula perturbación de la superficie del suelo.
- No ocasiona molestias al tránsito vehicular.

Limitaciones:

- Generalmente sin guía.
- Una minuciosa investigación de campo es requerida.
- Largos obstáculos o suelo muy suelto pueden causar problemas.

Datos técnicos:

- Diámetro de tubería: 150 a 1500 milímetros en túneles revestidos, de 50 a 150 milímetros con perforaciones sin revestimiento.
- Material de la tubería: revestimientos de acero con otro tipo de tubería y cables también pueden instalarse.
- Longitud típica de instalación: 60 m.

Costos:

Esta técnica es principalmente utilizada para instalar tuberías de agua potable, alcantarillado, tuberías de gas y ductos para cables. A continuación se describen los costos básicos en los que se incurre con esta técnica.

El costo capital del equipo: consiste en tres partes. Está el costo de la unidad tuneladora que comprende una cabeza cortadora, una serie de berbiquí los cuales son utilizados para transportar el desperdicio fuera de la cabeza cortadora y la unidad hidráulica.

Costo de operación: se incurre en él cuando se instala y se opera el equipo. También incluye el número de operarios.

Investigaciones del sitio: se incurre en ellos al realizar un peritaje completo para confirmar las condiciones del suelo y medir el agua en el mismo, previo a decidir qué tipo de técnica se utilizara. Esto también incluye el trabajo de localizar otros servicios enterrados.

Costos de Excavación: al cavar y restaurar los pozos de recepción y conducción que albergan a la unidad hidráulica y recibir a la cabeza cortadora al final del recorrido.

Costo del revestimiento de acero: el cual está posicionado entre la unidad tuneladora y la unidad hidráulica. El costo del revestimiento se incrementará con el diámetro y la longitud de conducción.

Costos de tubería: abarca el tubo en sí, incluyendo cualquier preparación del sitio e instalación.

2.2 Perforación dirigida

Técnica estadounidense generalmente utilizada para instalaciones largas (arriba de 1.5 Km) para suministros de agua mayores a 300 mm de diámetro.

Esto envuelve perforaciones en un arco poco profundo con una cabeza perforadora dirigida.

La perforación dirigida fue originalmente desarrollada por la industria petrolera para instalar tubería bajo obstáculos tales como ríos o cruces, en los cuales la línea de tubería se sigue, a poca profundidad para omitir cualquier obstáculo. En general, una perforadora guiada por rotación, es utilizada para perforar un túnel piloto bajo el obstáculo y luego un dispositivo escariador o rimador es sujetado y jalado de regreso para engrosar el túnel. Cuando el diámetro correcto de perforación ha sido logrado, la tubería es instalada. Esto es ahora ampliamente utilizado para instalaciones de agua bajo vías motorizadas, ríos, lagos, pistas y áreas ambientalmente sensibles.

La plataforma de perforación y el cuarto de control están posicionados en el sitio apropiado de iniciación. El hueco perforado guía de aproximadamente 80 a 140 milímetros de diámetro es empezado en la superficie a un ángulo de 8° a 15° y es utilizado para perforar un hueco piloto bajo el obstáculo.

Dos tipos de cabezas cortadoras son utilizadas dependiendo de las condiciones del terreno, un aparato cortador con fluido a chorro o una cabeza lodosa y manejable de motor. El motor manejable y lodoso es principalmente utilizado en arenas, arcillas o piedras sueltas con el barro siendo descargado y así lubricando el túnel y removiendo el suelo cortado. La cortadora con fluido a chorro es principalmente utilizada en sedimentos, arcillas depositadas o arenas y opera forzando al barro por pequeños orificios con la energía del fluido a chorro cortando el terreno.

Figura 4. **Plataforma de perforación dirigida**



Fuente: **ISTT**

Un tubo de lavado de aproximadamente 140 milímetros es introducido junto con la sarta y sigue detrás a la cabeza perforadora. La operación continua con la sarta piloto y el tubo de lavado hasta el punto de salida en el lado opuesto al obstáculo.

La sarta piloto es retirada y el túnel ensanchado por un barreno escariador sujeto y jalado de regreso por el tubo de lavado. Subsecuentemente la acción de escariar continua hasta que el diámetro requerido es logrado.

La longitud completa de la tubería de agua es unida y probada a presión previa a su instalación en el área de perforación justo en el punto de salida. La tubería es entonces sujeta a la cabeza de escariar vía, una junta giratoria y jalada por el nuevo túnel formado usando la capacidad de retracción de la plataforma de perforación. Esto es normalmente hecho al mismo tiempo que la operación final de rimado.

Para asegurar una ruta certera se mantiene en toda la operación de perforación un paquete de peritaje localizado justo detrás de la cabeza cortadora. Si es necesario la sarta de perforación puede ser retrocedida y el túnel vuelto a perforar para mejorar la precisión o tratar cualquier piedra u obstáculo pequeño encontrado.

Para asegurarse que la cabeza cortadora sea la correcta o el método utilizado el necesario, es esencial preocuparse por una serie de investigaciones sobre el terreno. Si en estas investigaciones se encuentra suelo granular y gravas, entonces la perforación direccional no deberá utilizarse. Esto se da porque las posibilidades de colapso en las paredes durante el rimado se incrementan.

Ventajas:

- Se logra una rápida instalación.
- Tuberías pueden instalarse sobre distancias largas.
- La alineación y nivelación son controladas.
- Al finalizar una instalación la línea y el nivel pueden confirmarse.

Limitaciones:

- En el punto de entrada de la perforación un área amplia es requerida para la plataforma de perforación y el equipo auxiliar.
- Un área amplia es requerida para el ensamblaje y prueba de presión de la tubería en el punto de salida.
- Posibilidades de colapso en las paredes del túnel, si el suelo es granular o rocoso.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro de la tubería: 300 a 1500 milímetros.
- Material de la tubería: acero, polietileno.
- Longitudes típicas de instalación: arriba de 1500 metros.

Costos:

Al ser un método principalmente utilizado para instalar servicios de agua potable, alcantarillados, tuberías de gas y ductos para cables, la descripción de costos es la siguiente:

El costo capital de equipo: consiste en dos partes, la plataforma de perforación y la cabina de control. Esta última generalmente es instalada dentro del trailer contenedor.

Costo de operación: se incurre en él cuando se instala y se opera el equipo. También incluye el número de operarios.

Costo de investigaciones del sitio: se incurre en ello al realizar un peritaje completo para confirmar las condiciones del suelo y medir el agua en el mismo, previo a decidir qué tipo de técnica se utilizará. Esto también incluye el trabajo de localizar otros servicios enterrados.

Costos de excavación: al cavar y restaurar los pozos de recepción y conducción para la cabeza perforadora.

Administración del tránsito: al controlar el flujo de tráfico alrededor del sitio de instalación, incluyendo los costos de la administración del equipo.

Costos de tubería: abarca el tubo en sí, incluyendo cualquier preparación del sitio e instalación.

2.3 Taladro guiado

Esta técnica de origen estadounidense, es generalmente utilizada para la instalación de tuberías de agua menores a 300 milímetros de diámetro usando una cabeza perforadora manejable y guiada, utilizada para instalaciones normalmente mayores a 100 metros de longitud y puede seguir una curva ajustada.

Esta técnica fue originalmente desarrollada para la instalación de cable eléctrico bajo obstáculos tales como aeropuertos, autopistas, vías peatonales, caminos y ríos. En general una cabeza cortadora, sujeta a una sarta de perforación es empujada dentro del terreno bajo el obstáculo. En la salida, un rimador y la tubería de agua son sujetos a la sarta de perforación y luego jalados de regreso a la plataforma de perforación.

Siempre existe el peligro, cuando se utiliza el taladro guiado, que la cabeza cortadora choque con un cable eléctrico de poder, razón por lo cual es muy importante chequear la ubicación de los cables eléctricos y también el uso de equipo de protección contra los mismos.

Una pequeña plataforma móvil es instalada cerca al punto de entrada y una sarta de perforación con una cabeza cortadora es sujeta. La plataforma entonces empuja la cabeza cortadora en el terreno a un ángulo poco profundo bajo el obstáculo. Para una cortadora de fluido a chorro la cabeza cortadora consiste de una cabeza rotatoria con fluido, en la cual la acción cortadora es provista por una serie de pequeñas boquillas impulsoras de diámetro pequeño y una cara angulada la cual es utilizada como un mecanismo de guía. Como ayuda a los operarios, para guardar el paso de progreso de la cabeza cortadora una sonda transmisora es montada detrás de la cabeza perforadora. La señal transmitida por la sonda puede localizarse desde la superficie por un operador usando un dispositivo de localización. Típicamente el taladro guiado es utilizado en áreas urbanas donde existe un relativo número de servicios. Otro tipo de cabezas cortadoras pueden ser utilizadas, incluyendo cuchillas lubricadas y percusión en seco.

Durante una operación normal la cabeza cortadora rota y corta en una línea recta. Cuando un cambio de dirección es requerido la rotación de la cabeza cortadora es detenida. El operador esta entonces facultado a cambiar la dirección de la sarta de perforación posicionando la cara angulada de la perforadora en la ruta requerida. La sarta de perforación es entonces empujada hacia delante y el proceso repetido hasta que la cabeza perforadora vaya en la dirección correcta.

Figura 5. **Dispositivo de localización**



Fuente: **ISTT**

La rotación de la cabeza cortadora es entonces reanudada y la perforación continua hasta que la cabeza cortadora emerge. Después que el túnel ha sido exitosamente estabilizado el mismo es ampliado a la medida correcta por un rimador. Esto es logrado sujetando un rimador rotacional y tubería de agua en la sarta y luego jalando la sarta de escariar de regreso a la plataforma. La longitud completa de tubería de agua es unida previa ser sujeta al rimador.

Ventajas:

- Un trastorno local mínimo alrededor del lanzamiento, servicios de conexión y huecos receptores.
- Un procedimiento relativamente rápido.
- Mayor control sobre la dirección que con las técnicas topo no guiadas.

Limitaciones:

- La seguridad puede ser un asunto, equipo y operarios deben protegerse de los golpes subterráneos.
- No debe utilizarse en arena o material gravoso.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro de tubería: arriba de 300 milímetros.
- Material de tubería: polietileno.
- Longitudes típicas de instalación: 100 metros por día.

Costos:

Costo capital del equipo: consiste principalmente en la plataforma de perforación, pero también incluye el costo del equipo de detección de tubería o cable y el equipo de localización de la cabeza cortadora. La celosía se relaciona al costo capital de la sonda transmisor que está localizada justo atrás de la cabeza cortadora y el dispositivo de localización utilizado por el operador.

Costo de operación: se incurre en él cuando se instala y se opera el equipo. También incluye el número de operarios.

Investigaciones del sitio: se incurre en ello al realizar un peritaje completo para confirmar las condiciones del suelo y medir el agua en el mismo, previo a decidir qué tipo de técnica se utilizará. Esto también incluye el trabajo de localizar otros servicios enterrados.

Costos de excavación: al cavar y restaurar los pozos de recepción y conducción para la cabeza perforadora.

Costos de protección contra impactos eléctricos: incluyen la protección de la cabeza perforadora y la de los operarios, si la cabeza perforadora impacta o choca contra algún cable de electricidad.

Administración del tránsito: al controlar el flujo de tráfico alrededor del sitio de instalación, incluyendo los costos de la administración del equipo.

Costos de tubería: abarca el tubo en sí, incluyendo cualquier preparación del sitio e instalación.

2.4 Perforación por impacto

Técnica de origen polaco y soviético, utilizada para la instalación de tubería produciendo un túnel por el desplazamiento del suelo utilizando un martilleo o una acción de percusión.

Un pistón de aire conducido golpea a un yunque al frente del topo, el cual generalmente tiene la forma de un torpedo. El topo se mueve hacia delante debido a la fricción producida entre la piel del topo y el suelo vecino. Esto fija al topo en el lugar y por lo tanto previene cualquier movimiento de regreso. La actuación de éste por lo tanto depende del tipo y condición del suelo en el cual se está operando. La acción de percusión del impacto tiene el efecto de compactar el suelo en el área inmediata al túnel formado y por lo tanto el topo puede sólo ser utilizado en suelos que permitan esta compactación.

Figura 6. **Topo de impacto**



Fuente: **ISTT**

Existen dispositivos de taladrar disponibles los cuales tienen una habilidad de manejo limitada, como sea, la mayoría no pueden ser guiados. Así, que para asegurarse el éxito en la instalación es importante que la dirección, profundidad y nivel sean cuidadosamente establecidos antes que el topo sea lanzado. Equipo de monitoreo puede ser utilizado para localizar el progreso del topo por el suelo. Si el topo encuentra una obstrucción o es visto desviarse de su curso, este debe de retirarse y reiniciar el trabajo. En esto es esencial asegurarse que no existan otras tuberías, ductos o cables a lo largo de la ruta estimada para la nueva línea de tubería, las cuales potencialmente pueden ser dañadas por el topo.

Dos fosos son excavados, uno para lanzar el topo y otro para recibirlo. Una cuna de lanzamiento es montada y ajustada para alinear y nivelar el topo antes del comienzo de la operación. Esto asegura que el topo se alinee con el foso de recepción y emerja a la profundidad correcta. El foso de lanzamiento típicamente será de 1.5 metros de largo, un metro de ancho y aproximadamente un metro de profundidad. El foso de recepción tendrá al menos la longitud del topo para permitir que sea removido. Una vez el túnel se haya producido por el topo la tubería es instalada sujetándola a la manguera de aire de éste y luego jalándola por el hueco.

Los topos de impacto son cabezas arregladas para agrietar y cabezas con diferentes tipos de movimiento. El tipo martillo ajustado, opera por aire comprimido, impacta en la cabeza sólida la cual es guiada y atornillada en el cuerpo de la herramienta. La cabeza de martillo movable impacta en un yunque intermedio y la cabeza que penetra en el terreno es montada en un muelle o resorte. En teoría esto permite que toda la energía inicial de impacto sea concentrada en empujar la cabeza dentro del terreno, mientras que con el tipo ajustado el mismo impacto también tiene que vencer la fricción y mover el cuerpo hacia delante al mismo tiempo. Las perforaciones por impacto pueden lidiar con algunos obstáculos sin que sea desviado el curso. Esto es logrado sujetando diferentes tipos de cabezas al topo, lo cual permite la perforación en diferentes condiciones de suelo.

Las perforaciones por impacto pueden ser utilizadas con exactitud en la mayoría de suelos con tendencia a ser compactados para distancias arriba de 10 metros. Para distancias grandes, cuando la exactitud es reducida, la práctica de “puntada” puede ser empleada. Pequeños fosos son excavados a lo largo de la ruta del topo, así el nivel y la línea de ruta pueden verificarse.

Los topos son generalmente utilizados para instalar tuberías de servicios con pequeños diámetros de entre 30 y 80 mm, en una sola operación. Múltiples pasadas del topo pueden lograr diámetros de 200-250 mm.

Ventajas:

- Simplicidad en su operación, con una mínima cuota de habilidad requerida.
- Los costos de operación son bajos.
- Mínima perturbación.

Limitaciones:

- Los topos pueden desviarse de su curso por las condiciones cambiantes del terreno u obstrucciones.
- Los topos tienen una mínima o ninguna capacidad de maniobra y por lo tanto no pueden ser guiados alrededor del obstáculo.
- La operación en suelo duro o terreno con empedrados puede resultar difícil.
- Riesgo potencial a los servicios existentes.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro para tubería: 30 a 80 mm (arriba de 250 mm con múltiples pasadas).
- Material de la tubería a instalar: PVC-U, polietileno.
- Longitud típica de instalación: arriba de 10 metros en una operación.

Costos:

Al ser una técnica principalmente utilizada en la instalación de agua potable, gas y ductos de cable, se incurre en los costos siguientes:

El costo de capital por el equipo: consiste en dos partes. Está el costo del topo de impacto y el costo del compresor de aire. En adición está el costo capital del equipo detector de tubo o cable y el equipo localizador de la cabeza cortadora. La celosía se relaciona al costo capital de la sonda transmisor que está localizada justo atrás de la cabeza cortadora y el dispositivo de localización utilizado por el operador.

Costo de operación: se incurre en él cuando se instala y se opera el equipo. También incluye el número de operarios.

Investigaciones del sitio: se incurre en ello al realizar un peritaje completo para confirmar las condiciones del suelo y medir el agua en el mismo, previo a decidir qué tipo de técnica a utilizar. Esto también incluye el trabajo de localizar otros servicios enterrados.

Costos de excavación: al cavar y restaurar los pozos de recepción y conducción para la cabeza cortadora.

Administración del tránsito: al controlar el flujo de tráfico alrededor del sitio de instalación, incluyendo los costos de la administración del equipo.

Costos de tubería: abarca el tubo en sí, incluyendo cualquier preparación del sitio e instalación.

2.5 Perforación por surco

Es utilizada para instalar una línea de tubería jalando un arado por el terreno y simultáneamente insertando una longitud continua de tubería flexible.

Un arado de cuchilla de acero y un tubo son jalados por el terreno utilizando una unidad de tracción y una unidad cabestrante. Mientras el arado pasa, el terreno es movido al lado, permitiendo a la tubería ser insertada. Esta tubería debe ser flexible lo suficiente para ser alimentada desde arriba del topo de arar y luego guiada por la caja de tubería dentro del surco formado en el suelo.

Figura 7. **Instalación en el surco**



Fuente: **ISTT**

Luego que la máquina ha pasado, la gravedad y la distensión natural del suelo son alrededor del 80% del asentamiento de la superficie del terreno. Más allá del restablecimiento de la “zanja” formada debería ser motivo de preocupación el paso del vehículo tractorizado o si es necesario, el uso de un vibrador, para la correcta compactación. La mayoría de los suelos son satisfactoriamente compactados al perfil original de superficie de esta manera.

Debido al tamaño del equipo y al método de operación, el topo de arar es más recomendable para líneas de tubería construidas en áreas rurales, sobre distancias de 1 Km y superiores, donde otros servicios no serán encontrados. A profundidades arriba de los 2 metros pueden colocarse por los múltiples materiales del suelo. El terreno bastante duro puede ser obviado, aunque rocas antiguas pueden quebrarse y piedras de regular tamaño ser echadas a un lado. Normalmente, una capa de fino y desgastado material permanece en el nivel formado por la caja de tubería. Esto provee de un entorno adecuado al tubo. Algunos sistemas están equipados con un vibrador el cual alimenta de otros materiales alrededor directo del tubo para formar un entorno. El perfil del tubo puede ser controlado utilizando un equipo láser. Los vehículos tractorizados pueden negociar inclinaciones abruptas.

Ventajas:

- Rápida instalación.
- Costos más bajos que con el zanjeo tradicional.
- Menos molestias al ganado y los sembradíos.

Limitaciones:

- Recomendable solamente para uso en áreas rurales y para longitudes considerables de tubería flexible continua.
- Servicios encontrados pueden afectar la velocidad de instalación.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro de tubería. 45 – 300 mm.
- Material de tubería a instalar: polietileno.
- Profundidad máxima de instalación: 2 metros.

Costos:

Técnica utilizada para la instalación de todo tipo de servicio de tubería y cables.

El costo capital del equipo: está en la adquisición del topo surcador y el vehículo de tracción adicional el cual es requerido cuando el topo surcador está siendo utilizado en un suelo pobre.

Costo de operación: se incurre en él cuando se instala y se opera el equipo. También incluye el número de operarios.

Investigaciones del sitio: se incurre en ello al realizar un peritaje completo para confirmar las condiciones del suelo y medir el agua en el mismo, previo a decidir qué tipo de técnica a utilizar. Esto también incluye el trabajo de localizar otros servicios enterrados.

Costos de tubería: abarca el tubo en sí, incluyendo cualquier preparación del sitio e instalación.

2.6 Zanjeo estrecho

Técnica cuyos orígenes se dieron en Holanda, Reino Unido y Estados Unidos, la cual consiste en una excavación mecánica de una zanja de aproximadamente 50 a 100 milímetros más ancha que el diámetro externo de la tubería que se planea instalar. El ancho máximo de zanja es de unos 600 milímetros.

El zanjeo estrecho es un método de corte y levantamiento de la superficie, que es utilizado para la instalación de tuberías con la perturbación mínima y el subsiguiente reemplazo de la superficie.

Aunque el zanjeo estrecho es un método que implica levantar el terreno, todas las operaciones son controladas desde la superficie y esto implica no necesitar un operario que se introduzca en la zanja.

La maquinaria típica de zanjeo estrecho consiste en una unidad de poder montada en un chasis maniobrable con un sistema hidráulico y un brazo móvil, al cual las partes cortadoras están sujetas. Una tubería nueva es instalada gracias al avance a lo largo de la ruta planeada para la tubería, con el brazo cortador rompiendo y abriendo la zanja a la profundidad requerida. Luego, la tubería es colocada y la zanja reinstaurada. Las tuberías flexibles son instaladas utilizando este método aunque es posible la instalación de tubería rígida, tal como la de hierro dúctil.

Existen dos métodos básicos para la excavación de zanjas, denominados *rockwheel* (aro de piedra) y *chaín trenchers* (cadena zanjeadora). Un *rockwheel* es una rueda maniobrable de forma circular con platos atornillados a la circunferencia. Sobre estos son montados dientes cortadores o picos los cuales son cónicos y tienen puntas de carburo de tungsteno. El *rockwheel* revoluciona a alrededor de 50 r.p.m. durante la excavación. La cadena *zanjeadora* incluye también cortadoras en movimiento, pero consiste en una cadena sin fin de platos montados en una botavara extendida. Los cortadores pueden también consistir de pequeñas cubetas cuando el suelo a excavar no tiene una superficie dura. Aumentando o disminuyendo de velocidad la botavara o el *rockwheel* se consigue penetración y salida del terreno.

El *rockwheel* y la cadena zanjeadora son adecuados para condiciones de calzadas, suelos firmes y roca.

Sendas y distintos tipos de chasis pueden ajustarse por igual con un *rockwheel* o una cadena zanjeadora dependiendo de los requerimientos. Un buen sistema de diseño puede lograr el corte de una zanja con bordes adecuados con un muy pequeño sobre-corte en la superficie.

Figura 8. **Cadena Zanjeadora**



Fuente: **ISTT**

El suelo excavado para formar la zanja es levantado o recogido por el movimiento de los picos revolucionados. Este es luego depositado en la superficie vecina o en el vehículo que sigue a la zanjeadora para su subsiguiente eliminación o mejora para convertirlo en material de relleno.

Una investigación a fondo del sitio es necesaria previo al proceso de zanjeo estrecho para cualquier proyecto, desde los estudios del terreno, las condiciones del sitio afectaran la decisión del equipo. La localización de servicios existentes es también una importante consideración.

Los registros y planos deben ser estudiados al mismo tiempo junto a una minuciosa inspección del sitio antes de que la excavación comience para obviar riesgos de daño a otros servicios.

Ventajas:

- Método más rápido al convencional trabajo de zanjeo, con un costo y un deterioro menor; efectivo en longitudes cortas más que otras técnicas de instalación.
- Un menor reemplazo requerido que con los trabajos convencionales.

Limitaciones:

- Otros servicios enterrados o piedras pueden afectar la velocidad de instalación.
- Por el ancho el acceso puede tornarse mínimo y por ende volverse restrictivo.
- El espacio es limitado para asegurar adecuadamente la compactación del relleno.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro para tuberías: 90 a 500 milímetros.
- Material de la tubería: polietileno, hierro dúctil.
- Profundidad máxima de instalación: 3 metros.

Costos:

El costo capital: consiste en tres partes principales. El costo de la unidad, ya sea el *rockwheel* o la cadena zanjeadora, el sistema de remoción de desperdicio y el equipo de reinstaurar. También incluido está el costo asociado con el equipo detector de cable o tubo.

Costo de operación: se incurre en él cuando se instala y se opera el equipo. También incluye el número de operarios.

Investigaciones del sitio: se incurre en ello al realizar un peritaje completo para confirmar las condiciones del suelo y medir el agua en el mismo, previo a decidir qué tipo de técnica se utilizará. Esto también incluye el trabajo de localizar otros servicios enterrados.

Administración del tránsito: al controlar el flujo de tráfico alrededor del sitio de instalación, incluyendo los costos de la administración del equipo.

Costos de tubería: abarca el tubo en sí, incluyendo cualquier preparación del sitio e instalación.

2.7 Tubería insertada

Técnica de origen alemán, no conducida para la instalación de tubería envolviendo un revestimiento guiado por el terreno gracias a un martillo neumático. Esta técnica es típicamente utilizada para atravesar diques o malecones, caminos, vías, ríos etc.

El martillo neumático es esencialmente un topo de largo impacto que se ajusta al final del revestimiento (vea Perforación por impacto). La cabeza del topo de impacto es modificada añadiéndole una nariz cónica para prevenir que el impacto deforme el fin del revestimiento. Una longitud de revestimiento, usualmente tubo de acero, es alineado en la dirección deseada con el topo de impacto detrás. La longitud entera de revestimiento puede ser insertada de una sola vez, o las secciones pueden ser añadidas durante la operación.

La parte frontal donde empieza el revestimiento puede ser cerrada, en el caso de diámetros pequeños o abierta. Si es abierta, un aro cortador puede ser soldado a la misma. En el caso de partes frontales abiertas, la mayoría del suelo que es desplazado entra en el revestimiento y forma un “corazón de pera”, que es una especie de tapón. Con esto, talvez será necesario lubricar la superficie de salida del revestimiento con agua o lodo. El tapón será removido usando un berbiquí, aire comprimido o un chorro propulsado. Después de la instalación del revestimiento la tubería es introducida por el mismo. Los puestos de manejo y recepción son necesarios para la operación del equipo. El puesto de conducción debe ser al menos tan largo como el topo de impacto junto al revestimiento. Un compresor es requerido para conducir el topo, además de una unidad de poder para manejar el compresor.

Ventajas:

- La no destrucción o mínima destrucción de la superficie del suelo.
- No es necesario interrumpir al tránsito vehicular.

Limitaciones:

- No es una sistema manejado o conducido.
- Investigaciones minuciosas del sitio son requeridas.
- No es recomendable a utilizar en el suelo que contenga rocas de un tamaño considerable.

Datos técnicos.

- Rango del diámetro de tubería: 50 a 1400 milímetros.
- Material de tubería: revestimiento de acero, que puede utilizarse como manga o funda para otras tuberías y cables.

Costos:

El costo capital: consiste en tres partes principales. El costo por el topo de impacto, la unidad de insertar el tubo y la unidad de poder para ambos el topo de impacto y la unidad de inserción.

Costo de operación: se incurre en él cuando se instala y se opera el equipo. También incluye el número de operarios.

Investigaciones del sitio: se incurre en ello al realizar un peritaje completo para confirmar las condiciones del suelo y medir el agua en el mismo, previo a decidir qué tipo de técnica se utilizará. Esto también incluye el trabajo de localizar otros servicios enterrados.

Costos de excavación: al cavar y restaurar el pozo de conducción para la unidad de inserción y el pozo de recepción para la cabeza de impacto.

Costo del revestimiento de acero: que se posiciona entre la unidad perforadora y la unidad hidráulica. El costo del revestimiento de acero se incrementará con el diámetro y la longitud de conducción.

Costos de tubería: abarca el tubo en sí, incluyendo cualquier preparación del sitio e instalación.

2.8 Taladro por impulso

Técnica desarrollada en Estados Unidos y Gran Bretaña que produce un túnel guiando un tubo cerrado o una varilla a través del terreno, usando un impulsor hidráulico.

El equipo para taladrar por impulso consiste en una plataforma de perforación con impulsores hidráulicos y un dispositivo sujetador de barras, todo lo cual está situado en el puesto de inserción. Las barras son posicionadas en la plataforma, sujetas por abrazaderas o conexiones finales, y luego empujadas. Más barras son conectadas e insertadas por el terreno. Esto continúa hasta que las barras encuentren el puesto de recepción.

Una cabeza perforadora es sujeta al frente de las barras para facilitar la circulación a través del suelo. A diferencia de microtunelar o perforar, el insertar es algo constante, en una serie de impactos. La cabeza perforadora no cuenta con rotación para forzar su ruta por el terreno y por ende ningún suelo es excavado. A causa de esto, la técnica no es idónea para suelos duros. Esto también limita el tamaño del túnel que se puede producir de esta manera, 150 milímetros es el máximo que se logra con muchas máquinas. La técnica recurre a la compactación para formar el túnel, de manera que los suelos cohesivos son más recomendables. Para engrosar el túnel, la cabeza perforadora es reemplazada con un rimador cuando emerge en el puesto de recepción. Este rimador es jalado de regreso por el túnel, trayendo la tubería con él. El taladro por impulso puede utilizarse para instalar tuberías plásticas, o revestimientos por los cuales la tubería puede luego insertarse.

El taladro por impulso es generalmente utilizado en líneas rectas entre los puestos de lanzamiento y recepción. La dirección y la profundidad es establecida en el puesto de lanzamiento previo a la perforación. Existen algunos sistemas conducibles disponibles. La cabeza perforadora en estos es en forma de cuña, lo cual genera una fuerza de deflexión en la cabeza causando que cambie de dirección. La orientación de la cabeza determina la dirección.

El curso puede ser chequeado por un transmisor eléctrico y un sistema de detección, y guiado al tornar la cabeza vía las barras. Si un túnel recto es requerido con este sistema, la cabeza tiene que rotar constantemente.

Ventajas:

- Puede utilizarse para realizar un túnel curvo.

Limitaciones:

- Sólo recomendable para diámetros pequeños y tubos flexibles.
- Requiere un puesto de conducción.
- Es dependiente de las condiciones del suelo.

Datos técnicos:

- Rango de diámetros para los tubos: 50 a 150 milímetros.
- Material de la tubería: polietileno, acero.
- Longitud típica de instalación: arriba de 30 metros.

Costos:

El costo capital del equipo: consiste básicamente de dos partes. Está el costo de la cabeza perforadora y el de la unidad hidráulica. En adición está el costo del equipo de detección del tubo o cable y el equipo localizador de la cabeza cortadora. La celosía constituye el costo capital de la sonda transmisor que está localizada justo detrás de la cabeza cortadora y el dispositivo de superficie localizador utilizado por el operador.

Costo de operación: se incurre en él cuando se instala y se opera el equipo. También incluye el número de operarios.

Investigaciones del sitio: se incurre en ello al realizar un peritaje completo para confirmar las condiciones del suelo y medir el agua en el mismo, previo a decidir qué tipo de técnica se utilizará. Esto también incluye el trabajo de localizar otros servicios enterrados.

Costos de Excavación: al cavar y restaurar el pozo de conducción para la unidad hidráulica.

Costos de tubería: abarca el tubo en sí, incluyendo cualquier preparación del sitio e instalación.

2.9 Tubo hidráulico

Técnica estadounidense para instalar una línea de tubería a través de un túnel, creado por una máquina escudo que es hidráulicamente empujada o introducida desde un pozo de conducción. Las tuberías son típicamente de 900 milímetros de diámetro hacia arriba.

El escudo hidráulico consiste en un cilindro de acero desde el cual la excavación del túnel es ejecutada. Ésta puede realizarse a mano, por excavadoras mecánicas o por escudos tuneladores a control remoto. La tubería de la sarta es conectada a la parte trasera del escudo tunelador. A medida que el escudo avanza por el terreno, más tubos son añadidos a la sarta en el pozo de conducción. El desperdicio de la cara excavada puede ser removido por una variedad de maneras incluyendo berbiquí, bombeo de lodo y en construcciones largas con capacidad de alojar personas con vagones o vagonetas.

El movimiento hacia delante del escudo es logrado por la operación de gatos hidráulicos posicionados en el pozo de conducción. Éstos reaccionan contra una pared de impulso en el propio pozo. A menudo mantener la sarta de tubos moviéndose hacia delante en orden de evitar que la tubería se pegue al terreno, al encontrarse ésta estacionada por largo tiempo. Después de completar la longitud de conducción, el escudo es recuperado en el pozo de recepción dejando completa la instalación de la línea de tubería. El escudo puede ser manejado, asegurando la línea y nivel correcto de la tubería. El alineamiento inicial de la tubería hidráulica es obtenido por la posición de la baranda guía dentro del pozo de impulso en el cual los tubos son posicionados. Una vez los gatos empiezan, la dirección es controlada por un chequeo continuo sobre los puntos de referencia determinados.

Figura 9. **Escudo hidráulico**



Fuente: **ISTT**

Para longitudes considerables de líneas de tubería, las estaciones hidráulicas intermedias pueden ser necesarias para permitir impulsos secuenciales de secciones de tubería. Las conducciones de varios cientos de metros son alcanzables utilizando esta técnica.

Los tubos utilizados para esta técnica son especialmente diseñados para asegurar que todas las juntas estén a ras con las paredes del tubo y que sean lo suficientemente fuertes para resistir las fuerzas hidráulicas aplicadas.

Ventajas:

- Levantamiento mínimo de la superficie.
- El nivel de ruido y molestias al tránsito son mínimas comparadas al zanjeo tradicional.

Limitaciones:

- Una investigación a fondo del sitio es esencial.
- Las características del suelo tienen un efecto significativo en la elección y aplicación del sistema de tubo hidráulico.
- Pozos de recepción y conducción son requeridos.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro de tubería: arriba de 900 milímetros.
- Material del tubo: concreto, GRP y arcilla.
- Longitudes típicas de instalación: 80 a 120 metros.

Costos:

Es una técnica principalmente utilizada en la instalación de alcantarillado.

El costo capital del equipo: consiste en tres partes principales. Está el costo de la cabeza cortadora, del cerco hidráulico y el equipo recogedor de desperdicio.

Costo de operación: se incurre en él cuando se instala y se opera el equipo. También incluye el número de operarios.

Investigaciones del sitio: se incurre en ello al realizar un peritaje completo para confirmar las condiciones del suelo y medir el agua en el mismo, previo a decidir qué tipo de técnica a utilizar. Esto también incluye el trabajo de localizar otros servicios enterrados.

Costos de excavación: al cavar y restaurar los pozos de recepción y conducción que albergan al cerco hidráulico y recibir la máquina tuneladora al final del recorrido. Los pozos usualmente forman parte del alcantarillado después de la instalación de la tubería y es un costo adicional convertir los accesos en pozos de visita del alcantarillado.

Administración del tránsito: al controlar el flujo de tráfico alrededor del sitio de instalación, incluyendo los costos de la administración del equipo.

Costos de tubería: abarca el tubo en sí, incluyendo cualquier preparación del sitio e instalación.

2.10 Micro-tunelar

Técnica de origen japonés para instalar tuberías de diámetro menor utilizando manejables técnicas de tubo hidráulico a control remoto.

Micro-tunelar consiste en utilizar un escudo tunelador a control remoto para excavar un túnel en el cual la tubería es instalada. Esta línea de tubería es conectada a la parte trasera del escudo micro-tunelador. A medida que el escudo forma el túnel, la tubería es empujada hacia delante por el posicionamiento de gatos hidráulicos dentro del cerco en el pozo de conducción. Más tubos son posicionados dentro del cerco, conectados a la sarta de tubos y luego forzados hacia delante. Este proceso continua hasta que la máquina tuneladora llega al pozo de recepción, dejando detrás una longitud de tubería instalada. La única excavación requerida de la superficie es para los pozos de recepción y conducción o lanzamiento.

De la excavación se encarga el escudo tunelador y existe un rango de cabezas cortadoras que pueden utilizarse, depende del tipo de suelo y los niveles de agua en el mismo. Las cabezas pueden ser arregladas con cuchillas para suelo suave o suelto, picos para suelo duro o roca suave y discos cortadores para roca sólida. Una vez excavado, el desperdicio puede removerse tanto por una aspiradora, un berbiquí mecánico, como barro o por compactación alrededor del túnel del tubo. En el primero de estos sistemas, la presión de aspiración es utilizada para succionar el material fuera por una de las caras tunelada, de regreso a los depósitos en la superficie. Alternamente, una broca puede utilizarse pasándola a través de la nueva tubería instalada. En este sistema el desperdicio es colectado en un salto y dejado fuera del pozo de conducción. El sistema berbiquí es preferido para pequeños pozos desde que el ritmo de remoción es considerablemente más rápido que con otros sistemas.

Figura 10. **Escudo tunelador**

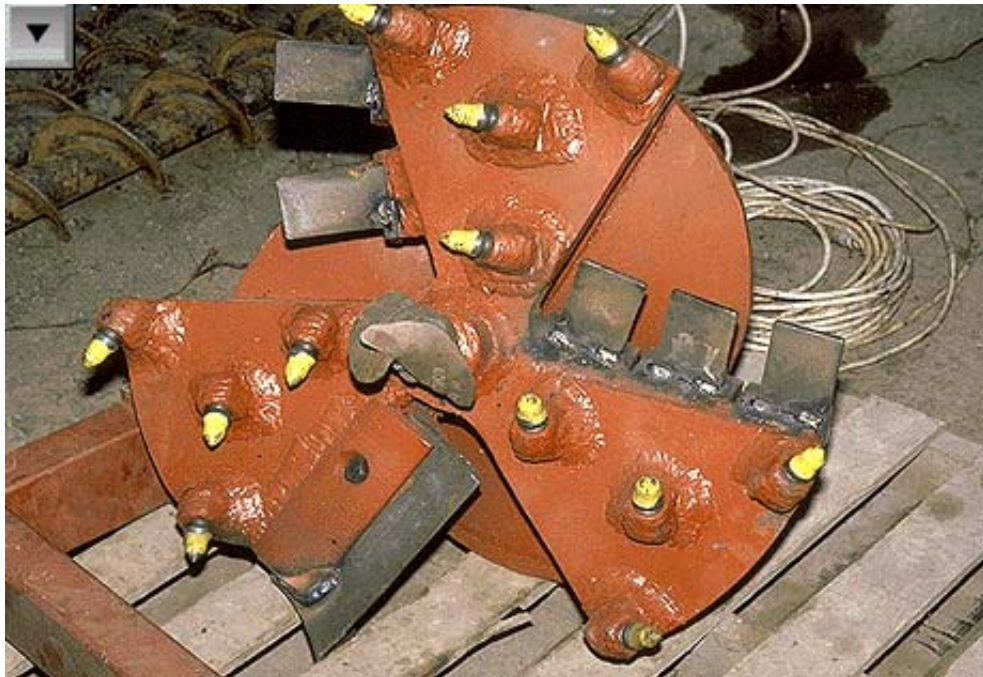


Fuente: **ISTT**

En el sistema de remoción por barro, el agua o bentonita puede utilizarse para convertir el desperdicio en barro dentro la cabeza cortadora. El barro, que es a base de agua, es entonces bombeado a la superficie a través de tubos dentro de la línea de tubería. El desperdicio es luego colectado en una planta procesadora, donde es removido y el barro reciclado de vuelta a la cara cortadora. El sistema de barro puede utilizarse para controlar el agua externa en el suelo balanceando la presión del barro ya que esto compensa la presión del agua en el terreno. El sistema por barro es usualmente más aconsejable para conducciones a través de longitudes largas, especialmente en suelo granular y donde hay agua subterránea.

Las condiciones del terreno tendrán un efecto importante en la selección del sistema de micro-tunelar para una situación en particular ya que ellas determinarán el tipo de máquina a utilizarse, la cabeza cortadora, el sistema de remoción de desperdicio y las fuerza hidráulica requerida.

Figura 11. **Cabeza tuneladora para suelo mixto**



Fuente: **ISTT**

Las máquinas micro-tuneladoras pueden manejarse para asegurar el correcto nivel y alineamiento de la tubería. La exactitud del túnel es normalmente determinada utilizando una guía láser de control. Las máquinas son operadas desde la cabina de control en la superficie.

Ventajas:

- Puede ser menos oneroso en la instalación de tuberías a profundidades considerables.
- Los niveles de ruido y molestias de tránsito son mínimas comparadas con el tradicional zanjeo.
- La línea y el nivel de la tubería pueden ser controlados exactamente y chequeados.
- Túneles curvos pueden producirse con esta técnica.

Limitaciones:

- Minuciosas investigaciones de sitio son esenciales, en especial para determinar el sistema más apto a utilizar.
- Las piedras y obstáculos pueden paralizar la instalación.
- El costo de capital en equipo es alto.
- La habilidad y experiencia de los operarios es significativa.
- Los pozos de conducción o lanzamiento y recepción son requeridos.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro de tubería: 150 a 900 milímetros.
- Material de tubería: concreto, GRP y arcilla.
- Longitud típica de instalación: 100 metros.

Costos:

Técnica principalmente utilizada para instalar alcantarillado.

El costo capital del equipo consiste en cinco partes que son las siguientes: el costo de la máquina tuneladora, cabezas cortadoras intercambiables, el cerco hidráulico, el tipo de sistema levantador de desperdicio y la cabina de control.

La cabina de control y los dispositivos levantadores están normalmente colocados en el contenedor de acero.

Costo de operación: se incurre en él cuando se instala y se opera el equipo. También incluye el número de operarios.

Investigaciones del sitio: se incurre en ello al realizar un peritaje completo para confirmar las condiciones del suelo y medir el agua en el mismo, previo a decidir qué tipo de técnica a utilizar. Esto también incluye el trabajo de localizar otros servicios enterrados.

Costos de excavación: al cavar y restaurar los pozos de recepción y conducción que albergan el cerco hidráulico y reciben la máquina tuneladora al final del recorrido. Los pozos usualmente forman parte del alcantarillado después de la instalación de la tubería y conforman un costo al convertir los accesos en pozos de visita.

Administración del tránsito: al controlar el flujo de tráfico alrededor del sitio de instalación, incluyendo los costos de la administración del equipo.

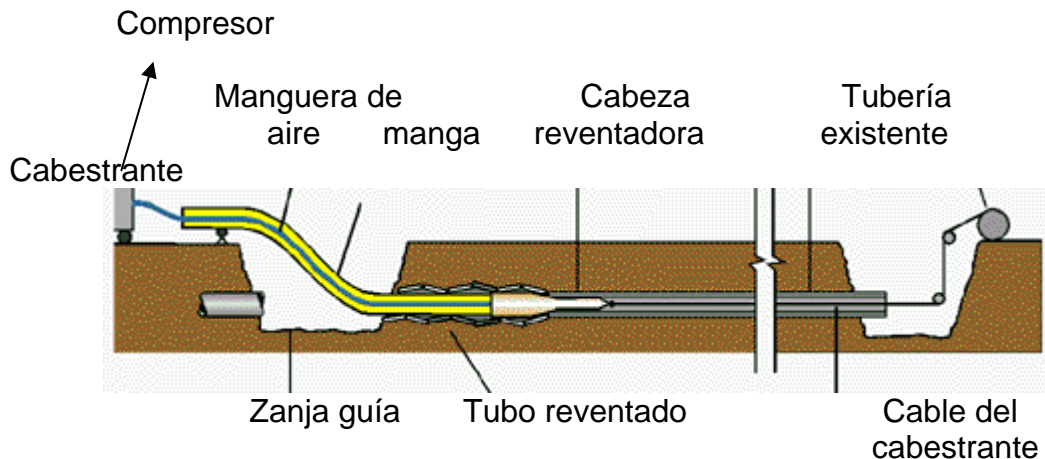
Costos de tubería: abarca el tubo en sí, incluyendo cualquier preparación del sitio e instalación.

3 TÉCNICAS PARA UN REEMPLAZO EN LÍNEA

3.1 Reventar la tubería

Técnica de origen británico y estadounidense, consiste en reemplazar tubos gracias al resquebrajamiento de los mismos desde adentro, mientras una manga o un nuevo tubo es simultáneamente empujado hacia adentro detrás de la herramienta reventadora.

Figura 12. **Proceso de reventar la tubería**



Fuente: ISTT

Trata de una herramienta reventadora la cual se mueve por la línea de tubería existente, aplicando fuerzas radiales para quebrar, abrir o rajarse el tubo. Un dispositivo propagador en la herramienta empuja los fragmentos de tubo dentro del suelo circundante.

Una delgada manga amuralladora es generalmente empujada dentro de la nueva perforación formada directamente detrás del propagador. Esta manga, ya sea de PVC o PE, protege el tubo de la contaminación por pequeñas cantidades de aceite lubricante presente en los gases expulsados de la cabeza reventadora. La manga también previene el daño que pueda sufrir la nueva tubería por fragmentos del tubo viejo en el suelo circunvecino. Para algunos reemplazos de diámetros pequeños de tubo, la manga es insertada primero.

La técnica de reventar la tubería puede utilizarse en los tubos quebradizos y es ahora ampliamente utilizada para reemplazar tubería de agua potable. Este sistema es utilizado para instalar tubos equivalentes en tamaño y en condiciones de suelo favorable, el tubo nuevo puede ser más grande hasta en un 50%.

Un desarrollo reciente es el de empujar la tubería directamente detrás de la herramienta reventadora. Una funda protectora flexible dentro del tubo actúa como un sellador, así que la contaminación de la superficie interna del tubo por los gases expulsados no ocurre.

Hay un número de diferentes métodos por lo cuales la tubería puede reventarse.

- Reventón neumático de la tubería.
- Reventón hidráulico de la tubería.
- Envarillado (*rodding*).

3.1.1 Reventón neumático de la tubería

Este sistema consiste de un topo de impacto conducido, conocido como bomba, con una aleta estática reventadora sujeta al frente.

Esta bomba es conducida por la tubería existente, usando una tensión constante radial como la de un torno. La acción reventadora es proveída por la bomba, la cual tiene una fuerza de alto impacto. Los fragmentos de la tubería son comprimidos dentro del suelo circundante por el propagador.

Figura 13. Posicionando una cabeza neumática



Fuente: ISTT

Ventajas:

- La capacidad de la tubería puede mantenerse o incrementarse.
- La tasa de progreso pueden ser mucho más grande comparado con el trabajo de abrir o cortar el terreno, con una destrucción menor.
- Al existir pozos de visita estos con frecuencia pueden ser utilizados.

Limitaciones:

- El desplazamiento de la superficie puede ser un problema en tuberías a poca profundidad o en suelos no compactados.
- Para dar servicio o reemplazar las conexiones (laterales) debe excavarse.
- Sobre bombeo es requerido.
- La vibración causada con la reventadora puede interferir con los servicios adyacentes o las estructuras.
- La reventadora no debe utilizarse a menos de 300 milímetros de otro servicio.
- Situaciones inesperadas tales como concreto, collares de reparación no registrados o condiciones del suelo adversas (como arcillas consolidadas) pueden causar que el sistema neumático se detenga. Una excavación es generalmente requerida para remediar el problema.
- Curvas repentinas en tuberías existentes no pueden ser negociadas.

Datos técnicos:

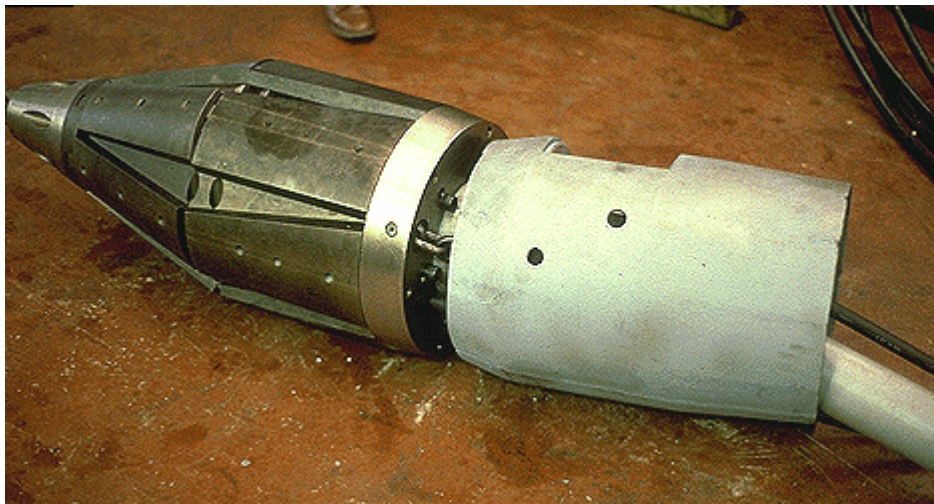
- Rango del diámetro de tubería: 50-600 milímetros.
- Material de tuberías a desechar: hierro, hierro dúctil, asbesto-cemento, PVC, concreto.
- Material de tuberías reemplazo: PVC, arcilla y GRP.
- Longitud típica de aplicación: 80 metros.

3.1.2 Reventón hidráulico de la tubería

Las máquinas hidráulicas de reventar tubería han sido diseñadas para operar en longitudes cortas de tubería y son principalmente utilizadas para aplicaciones en alcantarillados. Una cabeza de expansión hidráulica es conducida a lo largo de la línea de tubería. Ésta se expande a intervalos para quebrar el tubo y forzar los fragmentos dentro del suelo.

La fuerza expansiva es aplicada perpendicularmente a una línea de tubería y es por tanto más poderosa y eficiente que otros sistemas. Este sistema puede ser utilizado en conjunción con técnicas de forro inconexo, particularmente los sistemas plásticos, los cuales son frecuentemente utilizados para reemplazos de alcantarillas.

Figura 14. Cabeza de expansión hidráulica



Fuente: ISTT

Ventajas:

- La capacidad de la tubería puede mantenerse o aumentarse.
- Los índices de progreso pueden ser mucho mayores comparados con el hecho de abrir zanjas.
- Una menor destrucción que la experimentada con zanjas.
- Es un sistema de reventar la tubería mas poderoso.
- Los pozos de visita pueden ser utilizados.
- No hay vibración, por tanto el daño a servicios adyacentes es nulo.

Limitaciones:

- El desplazamiento de la superficie puede ser un problema en tuberías poco profundas y en suelos no compactados.
- Sobre bombeo es necesario.
- Para las conexiones laterales se debe excavar.
- Los sistemas de cabezas de expansión hidráulica pueden desorientar fragmentos del material de la línea de tubería original, los cuales pueden afectar en largo termino el comportamiento del producto a instalar.
- Curvas precisas en tuberías existentes no pueden ser negociadas.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro de tubería: 50-600 milímetros.
- Material de tuberías a desechar: arcilla, concreto, hierro, asbesto-cemento.
- Material de tuberías reemplazo: PVC, GRP.
- Longitud típica de aplicación: 90 metros.

3.1.3 Envarillar (*rodding*)

El equipo utiliza barras de acero pesado y una cabeza reventadora para quebrar el tubo existente. Es principalmente utilizado para aplicaciones a líneas de agua potable y gas.

El sistema barra hidráulica consiste de una cabeza reventadora estática, compuesta con aletas, la cual es jalada por la tubería gracias a una serie de varillas. Estas varillas son primero empujadas por la tubería, por una plataforma potenciada hidráulicamente, localizada en una zanja guía. Las barras de acero son aproximadamente de 1 metro de longitud y son empujadas dentro la tubería individualmente.

Después de que cada barra ha sido inserta, una nueva barra es ensartada detrás de la anterior y el proceso es repetido. Al lejano fin de la tubería, la cabeza reventadora es sujeta a las barras. Conforme las mismas son jaladas de regreso, la tubería vieja es quebrada hacia fuera. El sistema pueda también reventar la tubería original durante el proceso de envarillado.

Figura 15. Barras



Fuente: ISTT

Ventajas:

- La capacidad de la tubería puede mantenerse o incrementarse.
- La tasa de progreso puede ser mucho más grande comparada con abrir el terreno.
- Menos destrucción que la esperada al romper la superficie.
- No hay vibración, por tanto el daño a los servicios adyacentes es inexistente.

Limitaciones:

- El desplazamiento de la superficie en tuberías poco profundas y en suelos no compactados.
- El servicio a las conexiones debe hacerse excavando.
- Condiciones inesperadas tales como concreto, collares de reparación no registrados o condiciones del suelo adversas (sobre arcillas consolidadas) pueden causar que el sistema neumático se detenga. Una excavación es generalmente requerida para remediar el problema.
- Curvas repentinas en tuberías existentes no pueden ser negociadas.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro de tubo: 50-200 milímetros.
- Material de tuberías a desechar: hierro, hierro dúctil
- Material de tuberías reemplazo: PVC.
- Longitud típica de aplicación: 80 metros.

Costos:

Este método de reemplazo es principalmente utilizado en tuberías de agua potable, gas y alcantarillados. La descripción de los costos es listada continuación:

Costo capital del equipo: se asocia con la cabeza reventadora de tubo y la unidad de poder ya sea neumática o hidráulica. También incluye el costo capital del equipo detector de tubo o cable.

Costo de operación: se incurre en él cuando se instala y se opera el equipo. También incluye el número de operarios.

Investigaciones del sitio: se incurre en ello al realizar un peritaje completo para confirmar las condiciones del suelo y medir el agua en el mismo, previo a decidir qué tipo de técnica a utilizar. Esto también incluye el trabajo de localizar otros servicios enterrados.

Costos de excavación: al cavar y restaurar el pozo de lanzamiento para la plataforma de reventar y el pozo de recepción para la cabeza de reventar al final del recorrido. También incluyen la reconexión del servicio.

Costos de sobre-bombeo (sólo en alcantarillados): están asociados con el manejar flujos existentes por el alcantarillado.

Costos de reconexión: están asociados con la reconexión de las líneas laterales a la principal en la que se está trabajando.

Administración del tránsito: al controlar el flujo de tráfico alrededor del sitio de instalación, incluyendo los costos de la administración del equipo.

Costo de la manga: consiste en la manga protectora en sí, que se instala normalmente previo a colocar la tubería.

Costos de tubería: abarca el tubo, incluyendo cualquier preparación del sitio e instalación.

3.2 Rajar la tubería

Esta técnica difiere a los sistemas discutidos anteriormente en que ha sido desarrollada específicamente para reemplazar tubos de acero.

Dicha técnica trabaja de una manera similar a la técnica de envarillado, excepto que la cabeza que raja es utilizada para quebrar el tubo. Esta cabeza consiste de una serie de discos los cuales actúan dentro del tubo. Estos son seguidos por una cuchilla la cual corta el tubo. El propagador detrás de la cuchilla empuja la sección del tubo abierto, para permitir al tubo reemplazante ser instalado.

Ventajas:

- La capacidad de la tubería puede mantenerse o incrementarse.
- La tasa de progreso puede ser mucho más grande comparada con abrir el terreno.
- Menor destrucción que la experimentada al abrir zanja.

Limitaciones:

- El desplazamiento de la superficie puede ser un problema en tuberías a poca profundidad o en suelos no compactados.
- Para dar servicio o reemplazar las conexiones debe excavarse.
- Curvas repentinas en tuberías existentes no pueden ser negociadas.

Datos técnicos:

- Rango de diámetros de tubo: 50-150 milímetros.
- Material de tuberías a desechar: acero.
- Material de tuberías reemplazo: polietileno.
- Longitud típica de aplicación: 150 metros.

Costos:

Los costos en los que se incurre al emplear esta técnica son básicamente los mismos que al utilizar la técnica de reventar el tubo.

3.3 Tirar de la tubería

Técnica de origen británico y francés de reemplazar servicios de diámetro pequeño al sujetar un tubo nuevo al viejo y jalar este último por el terreno. Este método es particularmente apropiado para tuberías propias de servicio.

Esta técnica básicamente consiste en sujetar un tubo nuevo al ya existente, el cual es luego jalado, por tanto evitando excavaciones innecesarias. Tirar de la tubería reutiliza la línea original del servicio obviando así la posibilidad de daño a otros servicios, los cuales siempre están en riesgo con una nueva instalación. Esto es particularmente útil cuando la posición de otros servicios es desconocida, lo cual con frecuencia sucede.

Hay tres tipos básicos de métodos para tirar de un tubo, el sistema *Bullit*, SADE extractor y Excalibur. Algunos han tenido más uso que otros.

3.3.1 Sistema Bullit

La renovación del tubo es lograda por el uso de la herramienta de reemplazo *Bullit*. Ésta consiste de un cono metálico sólido el cual es sujetado al cable de un cabestrante. Este cable es insertado por el tubo y la herramienta *Bullit* posicionada dentro la boca del tubo. El reemplazo del tubo es logrado por esta herramienta, permitiéndole ser jalada conforme el tubo viejo es removido. La fuerza requerida para jalar el tubo hacia fuera del terreno es provista por un torno sujeto al otro lado del cable. Este torno es operado desde la superficie y puede igualmente ser montado en un trailer o posicionado libre con un paquete de poder remoto.

El cable del cabestrante es insertado dentro de la tubería en servicio en una primera alimentación por un cable delgado de plástico el cual es sujetado a un alambre de 6 milímetros, el cual es en su momento sujetado al cable del cabestrante de 8 milímetros de diámetro. Estos tres cables son utilizados para asegurar que el cable del cabestrante pueda ser insertado por el pequeño diámetro del tubo de servicio. El posicionamiento del cable del cabestrante puede causar problemas, particularmente si el diámetro pequeño del tubo de servicio (típicamente 15 mm) es reducido más allá por deformación. Si el cable se atasca dentro del tubo entonces talvez sea necesario excavar para liberarlo.

3.3.2 Sistema SADE (extractor)

Es sistema SADE trabaja en una manera similar a la técnica Bullit, pero el cable del cabestrante ha sido adaptado para facilitar la renovación del tubo de servicio. Conos pequeños compensatorios son posicionados a lo largo de la longitud del cable del cabestrante. Estos se agarran a la pared interior del tubo cuando la fuerza jaladora es aplicada. La fuerza es distribuida a lo largo de la longitud del tubo y por tanto incrementa su efectividad. La plataforma del torno o cabestrante es posicionada dentro de un acceso excavado en vez de la superficie.

3.3.3 Sistema *Excalibur*

Dos excavaciones son necesarias en la tubería principal de servicio y una cuerda es alimentada por el tubo para permitir su remoción.

La cuerda es alimentada a través del tubo por un motor conducido con un tambor, el cual rota sobre un eje horizontal.

La cuerda sale del tambor a lo largo de este eje y entra en el tubo, el final de la cuerda ha sido quemado para formar un punto. Los movimientos hacia delante y hacia atrás del cable son provistos por tres carrizos posicionados a intervalos de 120 grados alrededor de la circunferencia de la cuerda. Esto causa que la cuerda rote a medida que viaja, limpiando el interior del tubo. Agua es impulsada de regreso por el extremo opuesto del tubo para lubricar el camino de la cuerda y limpiar los escombros.

Una vez la cuerda ha sido posicionada una lechada de cemento es vertida dentro del tubo para formar un vínculo entre el tubo y la cuerda y es curada en 20 a 30 minutos. Este vínculo permite al tubo y a la cuerda actuar como un objeto sólido más accesible a resistir las fuerzas extensibles producidas cuando es jalado hacia fuera del terreno. El tubo es jalado por un mecanismo de gato hidráulico el cual es posicionado en uno de los accesos excavados.

Ventajas:

- Mínima destrucción del área circunvecina al usar la ruta existente.
- Una vez el cable del cabestrante ha sido insertado, el tubo existente es rápidamente removido.

Limitaciones:

- Los diámetros pequeño del tubo en servicio pueden hacer difícil el insertar el cable del cabestrante.

Datos técnicos:

- Rango de diámetros de tubo: arriba de 20 milímetros.
- Material de tuberías a desechar: plomo.
- Material de tuberías reemplazo: PE.

Costos:

Técnica que principalmente se utiliza en el reemplazo en línea para tuberías de agua potable y gas.

Costo capital del equipo: se incurre en él al adquirir la maquinaria para tirar. Esto incluye el costo de los equipos detectores de tubo y cable.

Costo de operación: se incurre en él cuando se instala y se opera el equipo. También incluye el número de operarios.

Investigaciones del sitio: se incurre en ellos al realizar un peritaje completo para confirmar las condiciones del suelo y medir el agua en el mismo, previo a decidir qué tipo de técnica a utilizar. Esto también incluye el trabajo de localizar otros servicios enterrados.

Costos de excavación: al cavar y restaurar los pozos de recepción y conducción.

Costos de tubería: abarca el tubo en sí, incluyendo cualquier preparación del sitio e instalación.

3.4 Come tubo

Técnica reemplazante de origen japonés, basada en la micro-tunelación, (ver micro-tunelar).

La técnica consiste de un escudo micro-tunelador el cual ha sido específicamente adaptado para permitir que la tubería existente sea quebrada y removida.

Este escudo tiene un mayor diámetro que la línea de tubería existente. El escudo come tubo es un tunelador a base de una roca estrujadora que logra romper el tubo. Un cono montado excéntricamente en el escudo estruja los fragmentos de tubo para facilitar su remoción del escudo. Algunos sistemas también incorporan un probóscide al frente del escudo, para ayudar a guiarlo por la línea existente de tubería y para permitir que el flujo del drenaje fluya.

Los fragmentos de tubo pueden ser removidos por una excavación a base de aspiración o al verter lodo. En el primero de estos sistemas, la presión de aspirado permite a los escombros ser succionados afuera del escudo hacia tanques en la superficie. En el sistema de verter, agua o bentonita que se hace circular hasta escudo y de regreso a una planta procesadora en la superficie. Los escombros y fragmentos de tubo son removidos del lodo, el cual es reciclado y enviado de vuelta al escudo. En este sistema la línea existente debe ser sellada para mantener la presión del lodo.

El escudo come tubo es empujado hacia delante a lo largo de la ruta de la tubería existente utilizando gatos hidráulicos, localizados en el pozo de conducción o lanzamiento. Los tubos reemplazantes son conectados a la parte trasera del escudo tunelador. Al final de la longitud de conducción el escudo come tubo es recobrado en el pozo de recepción, dejando una tubería nueva en lugar de la defectuosa.

Esta técnica puede ser utilizada para reemplazar tubos de arcilla, concreto, asbesto-cemento y tubos GRP. Algunas máquinas están capacitadas para reemplazar tubos de concreto reforzado.

Ventajas:

- Algunos equipos pueden manejar flujos corriendo.
- Un incremento de diámetro es posible.
- No se disturba la superficie del suelo.
- Manejable o conducible.

Limitaciones:

- Los pozos de lanzamiento y recepción son necesarios.
- El espacio necesario sobre el terreno para el equipo complementario de construcción.

Datos técnicos:

- Rango de diámetros de tubo: 200-600 milímetros.
- Material de tuberías a desechar: arcilla, concreto, concreto reforzado, asbestos, cementos, GRP.
- Material de tuberías reemplazo: hierro dúctil, GRP, concreto.

Costos:

Los puntos siguientes muestran los gastos que se ocasionan al aplicar esta técnica. No se mencionan costos individuales para cada descripción, pero todas tienen su influencia al hacer una comparación de costos.

Costo capital del equipo: consiste de tres partes principales. Esta el costo de la cabeza cortadora, del cerco hidráulico y el costo del sistema para remover el desecho.

Costo de operación: se incurre en él cuando se instala y se opera el equipo. También incluye el número de operarios.

Investigaciones del sitio: se incurre en ello al realizar un peritaje completo para confirmar las condiciones del suelo y medir el agua en el mismo, previo a decidir qué tipo de técnica a utilizar. Esto también incluye el trabajo de localizar otros servicios enterrados.

Costos de excavación: al cavar y restaurar los pozos de recepción y conducción que albergan al cerco hidráulico y recibir la cabeza cortadora al final del recorrido.

Costos de sobre-bombeo: están asociados con el manejar flujos existentes en el alcantarillado.

Costos de reconexión: están asociados con la reconexión de las líneas laterales a la principal en la que se está trabajando.

Administración del tránsito: al controlar el flujo de tráfico alrededor del sitio de instalación, incluyendo los costos de la administración del equipo.

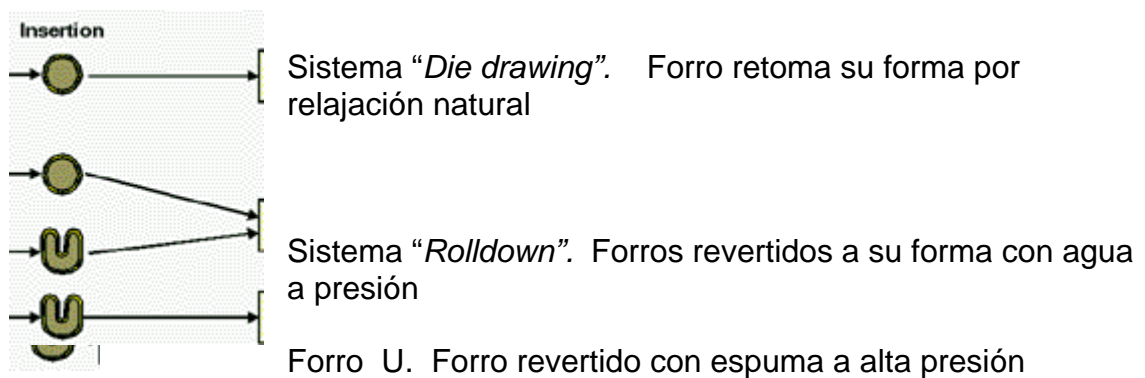
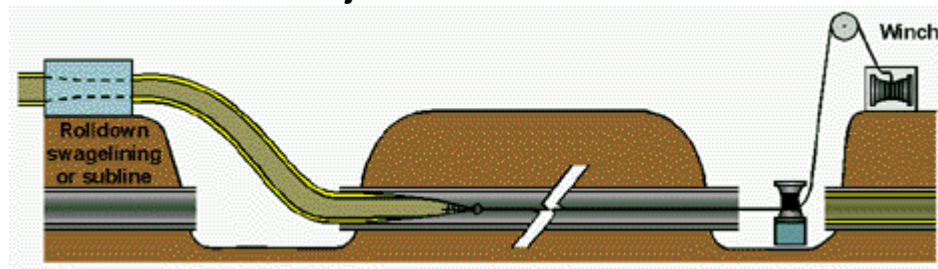
Costos de tubería: abarca el tubo, incluyendo cualquier preparación del sitio e instalación.

4 TÉCNICAS PARA RENOVAR UNA LÍNEA DE TUBERÍA

4.1 Sistema de revestimiento ajustado

Sistema de revestimiento ajustado es un término para describir una clase de técnicas para renovar líneas de tubería, en las cuales la sección transversal del forro es temporalmente deformada antes de su inserción en la tubería. El forro es subsecuentemente restaurado a su diámetro original, formando un acoplamiento con el tubo original. Su origen es británico y estadounidense.

Figura 16. **Revestimiento ajustado**



Fuente: **ISTT**

El forro es deformado ya sea reduciendo su diámetro o cambiando su forma. Para realizar lo anterior el forro es pasado por un troquel estrecho, por rodillos o es plegado, ya sea en el lugar o en la fábrica. Después de su inserción dentro de la tubería el proceso es revertido, ya sea por un esparcimiento natural o por la aplicación de un chorro bajo presión de agua. Cada sistema de forro ajustado utiliza una combinación diferente de deformaciones y métodos de reversión.

Los sistemas de forro ajustado operan en una manera similar al forro deslizable continuo, como sea los forros ajustados tienen sus ventajas. Por ejemplo, al estar el forro bien ajustado con el tubo original representa que el diámetro total de la línea de tubería es mayor al esperado con el forro deslizable continuo. El resultado es una pérdida mínima de la capacidad hidráulica contrario a lo que el forro deslizable continuo ofrece. La velocidad de instalación del forro se incrementa también con este sistema. La deformación, ya sea por cambio de su diámetro o de su forma, reduce la cantidad de fricción en el forro al ser instalado, haciendo esto posible el remolcar por largos trazos el forro con un simple jalón.

El sistema de forro ajustado puede utilizarse para instalar ambos forros, estructurales y no estructurales. Un forro estructural es esencialmente un nuevo tubo el cual es insertado a lo largo de la línea de tubería. El no estructural, o forro de pared delgada, son utilizados donde la tubería original es sensatamente estructural, pero puede tener defectos menores o problemas con la calidad del agua. Un forro es clasificado como de pared delgada cuando su rango de presión es menor que el requerimiento de diseño de la tubería en el que trabajará, el soporte estructural es provisto por la tubería original.

Ventajas:

- El forro tiene un acoplamiento con la tubería por lo que no es necesario una lechada posterior.
- Generalmente no ocurre serpenteo del forro.
- La reducción en la sección transversal de la tubería es mínima.
- Rápida instalación.
- Las curvaturas de gran radio pueden ser acomodadas.

Limitaciones:

- Los servicios a renovar deben ser razonablemente rectos.
- Las conexiones de servicios deben ser identificadas, excavadas y desconectadas antes que el proceso de revestir empiece. Un número excesivo de conexiones de servicio pueden negar cualquier ahorro en costo o tiempo asociado con el forro ajustado.
- Sólo secciones transversales circulares pueden ser trabajadas.
- Cualquier deformación u obstáculo dentro de la tubería puede impedir que el forro sea insertado. Como sea, las obstrucciones pueden con frecuencia ser removidas gracias a una limpieza agresiva.

Hay diferentes tipos de sistemas de forro ajustado que están disponibles, por ejemplo: *Die drawing*, *Rolldown* y tubo deformado.

4.1.1 Sistema *Die drawing*

El primer sistema de forro ajustado en ser desarrollado fue el *Die drawing* en caliente o forro estampado, por el gas británico en los años ochenta. La técnica envuelve la reducción del diámetro del forro por un calentamiento primario a una temperatura de alrededor de 100°C.

El forro, hecho de polietileno, es entonces jalado a través de un molde estrecho de acero reductor, el cual lo estruja hasta que su diámetro es reducido. El forro es entonces introducido gracias al torno o cabestrante, en la tubería. El diámetro reducido del forro es mantenido debido a la tensión producida durante el cabestreo. Una vez el forro ha sido instalado la fuerza del torno es aliviada, permitiendo al forro revertirse a su forma original. El diámetro del forro es típicamente reducido en alrededor del 6% permitiendo su fácil inserción dentro de la tubería. El grosor de la pared del forro permanece igual, pero la longitud del mismo se incrementa al compensarse.

Un sistema de *Die drawing* en frío está disponible también, donde el forro permanece a la temperatura ambiente conforme es jalado a través del molde. La lubricación adicional es algunas veces requerida en este proceso, usualmente aceite vegetal o bentonita. En ambos procesos, en frío y en caliente, el forro regresa a su forma original por un proceso natural de esparcimiento. Un proceso de reversión adicional no es por tanto requerido, simplificando el procedimiento de revestir.

El proceso de *Die drawing* es continuo y es difícil de detener una vez ha empezado, ya que cualquier alivio de la tensión permitirá que el proceso de reversión comience. Esta técnica puede, sólo ser aplicada en el sitio, la inserción del forro toma lugar inmediatamente después de pasado este por el molde reductor. El forro tiene que ser unido continuamente en una sarta antes al ser pasado por el molde, así que debe haber suficiente espacio en el lugar para permitir que el forro sea elaborado.

Datos técnicos:

- Diámetro de tubería: 75 a 600 milímetros.
- Reducción del diámetro del forro: 6% al 10%.

- Material del forro: polietileno.
- Material de la tubería: cualquiera.
- Máxima longitud de instalación: 800 metros.

4.1.2 Sistema Rolldown

En el proceso *Rolldown* el diámetro del forro es sometido a una semi-permanente reducción antes de su inserción dentro del tubo. Esto es logrado pasando el tubo por un arreglo de cilindros hemisféricos. Este proceso reduce el diámetro en alrededor del 10%, esta reducción es gracias a un incremento en el grosor de la pared. Como la deformación es semi-permanente el forro puede ser almacenado en el sitio hasta su utilización. Una vez ha sido insertado dentro del tubo, el forro es revertido a su diámetro original gracias a la aplicación de agua fría a presión.

Es posible que el proceso de reducción tome lugar conforme el forro es insertado en la tubería o en otra ubicación, dependiendo del espacio disponible en el sitio. Esto permite gran flexibilidad en el uso del forro. Los revestimientos son usualmente unidos para formar una sarta de tubo continuo antes de ser pasados por la plataforma *Rolldown*. Como fuere, si el espacio es restringido, los trozos adicionales pueden ser soldadas al forro inmediatamente antes del proceso de *Rolldown*. El material del revestimiento en esta instancia es polietileno.

Las cargas o fuerzas del cabestrante necesarias para instalar el forro *Rolldown* son menores que las necesarias para instalar un revestimiento *die draw*, como esta fuerza es sólo necesaria para empujar el forro al lugar. Es por tanto posible el jalar en grandes longitudes el forro, haciendo esto más rápido y más conveniente.

El diámetro del forro es reducido debido a la aplicación de fuerzas compresivas circunferenciales. Esta técnica es por tanto menos recomendable para su utilización con forros de pared delgada, por ejemplo MDPE con $SDR > 30$ y HPPE con $SDR > 33$.

Datos técnicos:

- Diámetro de tubería: 75 a 600 milímetros.
- Reducción del diámetro del forro: 10%.
- Material del forro: polietileno.
- Material de la tubería: cualquiera.
- Máxima longitud de instalación: 1000 metros.

4.1.3 Sistema tubo deformado

La alternativa para reducir el diámetro del forro es deformarlo o plegarlo para permitir su inserción en la tubería. La principal ventaja con este tipo de técnica de revestimiento ajustado es la gran reducción del diámetro del forro, ya que puede lograrse una reducción del 50% en algunos casos. Esto significa que las fuerzas cabestrantes necesarias para instalar el forro son pequeñas. Los revestimientos arrugados son más flexibles, así que ellos pueden negociar curvas ajustadas más que otras técnicas de forro ajustado. Aunque al plegar el forro puede resultar en grandes reducciones de diámetro, es necesario que el diámetro inicial de los forros plegados sea más pequeño que el del tubo original. Esto, para asegurar que los forros logren su completa forma redonda antes de formar un firme acoplamiento con el tubo original.

Los forros arrugados tienen una particular aplicación para renovar alcantarillados, como la gran reducción del diámetro permite un acceso simple dentro de este tipo de tuberías. Como sea, sólo tuberías nominalmente circulares son renovadas utilizando técnicas de revestimiento ajustado.

Existen dos métodos distintos de producir un forro deformado de polietileno, de fábrica y arrugado en el sitio.

4.1.3.1 Revestimiento arrugado industrial

En el sistema de forros plegados en fábrica el revestimiento es arrugado poco después que ha sido expulsado. Al forro se le permite serenarse un poco, luego éste es pasado a través de una herramienta que le da su nueva forma. El forro es usualmente arrugado para tomar la forma de “U” la cual es permanentemente retenida por el forro. El revestimiento es luego enroscado para su transportación al sitio. HPPE y HDPE deben ser enrollados mientras todavía están calientes, pero MDPE puede enrollarse tanto en frío como en caliente. Una vez el forro ha sido instalado éste es restaurado a su forma original utilizando un chorro presurizado. El calor reduce la fuerza de flexión del forro permitiendo a la presión moldearlo a la tubería original.

Al almacenar el revestimiento en un carrete, esto nos permite utilizar esta técnica en sitios en los cuales el espacio es limitado, por tanto incrementa la versatilidad del sistema. Como sea, este método de almacenaje restringe al tamaño y longitud del forro que puede ser surtido, a un mayor diámetro, una menor longitud de forro puede ser enrollado en el carrete. El mayor diámetro de revestimiento arrugado en industria que puede ser surtido es de 300 a 400 milímetros, el cual está disponible en longitudes de 100 a 150 metros. Pero arriba de 1.2 Kilómetros forro de 110 milímetros de diámetro puede ser surtido.

Una desventaja adicional de este sistema es que las longitudes plegadas de forro no pueden ser unidas después del proceso de plegamiento, por tanto las longitudes que pueden ser instaladas son restringidas a las que se puede surtir de parte de la fábrica.

Figura 17. **Forro en forma U**



Fuente: **ISTT**

Datos técnicos:

- Diámetro de tubería: 100 a 400 milímetros.
- Reducción del diámetro del forro: 50%.
- Material del forro: polietileno.
- Material de la tubería: cualquiera.
- Máxima longitud de instalación: 100 a 150 milímetros de diámetro = 1.2 kilómetros, arriba de 300 milímetros de diámetro = 100 a 180 metros.

4.1.3.2 Revestimiento arrugado en sitio

En la técnica plegado en sitio, el revestimiento es primero pasado por cilindros para reducir su diámetro (opcional). Este es luego forzado bajo una herramienta en forma de cono, la cual lo pliega a una forma de "U". Este forro es mantenido en esta forma por una bandas de polipropileno ajustadas. Después de la inserción dentro del tubo original el forro es revertido a su forma por la aplicación de agua a presión, las bandas sujetadoras revientan para permitir al revestimiento regresar a su forma original.

Esta técnica puede ser utilizada para forrar tuberías de 300 milímetros y más. El máximo diámetro posible es de 1,100 milímetros. Es técnicamente posible posicionar pliegues en forros de diámetro pequeño, pero el pliegue de fábrica puede hacer esto competitivamente, con la ventaja adicional de requerimientos menores de espacio en el sitio. Arrugar un gran diámetro es más difícil, para aquellos que tienen el ancho de pared estándar. Como resultado, este proceso es generalmente aplicado a forros de pared delgada.

La preparación del forro es similar a los sistemas *Die drawing* y *Rolldown* en que la sarta de revestimientos debe ser unida antes de ser arrugados. Esto puede llevarse acabo tanto antes que el proceso empiece, o tramos adicionales pueden ser unidos inmediatamente antes que pasen por la plataforma. Esto permite gran flexibilidad en las longitudes de tubería que pueden renovarse de esta manera. Como sea, si la sarta de tubos forro es construida en una sola operación debe haber suficiente espacio en el lugar para almacenarla antes de ser instalada.

Datos técnicos:

- Diámetro de tubería: 300 a 1100 milímetros.

- Reducción del diámetro del forro: 40%.
- Material del forro: polietileno.
- Material de la tubería: cualquiera.

4.1.3.3 Forro Nupipe

En todo el sistema de forro ajustado se utiliza el polietileno como el material de revestimiento. La excepción es *Nupipe* el cual utiliza PVC, modificado para hacerlo más flexible. Esta modificación no lo hace recomendable para ser utilizado en líneas de tubería de agua potable, por tanto es utilizado en alcantarillado donde la poca rigidez del PVC frío es una ventaja.

El forro es calentado antes de ser insertado dentro del tubo original para hacerlo flexible. Una membrana flexible de aire firme es pasada dentro del tubo original para prevenir que el exceso de calor sea transferido a las paredes de dicho tubo. El revestimiento es entonces pasado por un cilindro caliente, los extremos sin tapar por donde se introduce una herramienta de redondear, bajo presión. La herramienta expande el forro en forma de U hasta que éste forma un ajuste cercano con el tubo original. Al forro se le permite entonces enfriarse, bajo presión. La aplicación de presión provoca agujeros a la estructura, indicando la localización de laterales. Cortadores a control remoto son utilizados para reabrir estas conexiones.

Datos técnicos:

- Diámetro de tubería: 100 a 315 milímetros.
- Material del forro: PVC modificado.
- Material de la tubería: cualquiera.
- Máxima longitud de instalación: 200 metros.

4.1.3.4 Forro a un tubo de servicio

La mayoría de técnicas de forro ajustado fueron desarrolladas para utilizarlas en tubos de 75 milímetros de diámetro. Como sea, existe un método de re-forrar tubos de servicio, particularmente aquellos hechos de plomo. El sistema envuelve el insertar un tubo plástico en la tubería original y aplicar calor y presión para expandir el tubo y así formar un revestimiento ajustado, conocido como PET.

El forro es un tubo de diámetro pequeño de polietileno *teraphthalate* (PETP) y ha sido aprobado por la Inspección de Agua Potable del Reino Unido para su utilización.

Seguido al aislamiento del tubo de servicio del suministro principal, el tubo de servicio debe ser limpiado para remover restos y depósitos de corrosión. Esto se efectúa utilizando cable rotatorio y cepillos los cuales son pasados por el tubo. El aire comprimido es luego utilizado para soplar hacia afuera y aflojar las deposiciones. El forro PET es entonces insertado en la tubería. Para esta etapa el forro consiste de un tubo de 6 a 10 milímetros de diámetro. El orificio del tubo de plástico es luego calentado a 83°C al circular agua caliente. Cuando esta temperatura es lograda la presión aumenta a 4.5 bar para expandir el forro hasta que forme un acoplamiento con el tubo de servicio. La presión es mantenida utilizando aire comprimido hasta que el revestimiento se encuentra frío y listo para utilizarse. El proceso de expansión y luego de enfriamiento del forro toma alrededor de 15 a 20 minutos.

El forro de plástico ofrece protección contra la contaminación del tubo por plomo. Este puede insertarse a un costo menor o comparable al reemplazo total, sin las molestias asociadas. El sistema no puede ser utilizado en arreglos tales como llaves de paso, sin excavación extra.

Datos técnicos:

- Diámetro de tubería: 15 a 20 milímetros.
- Material del forro: polietileno *Teraphthalate*.
- Material de la tubería: principalmente plomo.

4.2 Sistema de revestimiento deslizable continuo

Técnica británica consistente en revestir con una longitud continua de tubo, la cual se introduce al tubo existente.

Un tubo MDPE o HPPE es insertado dentro un tubo defectuoso, jalándolo por el tubo. Una nariz cónica es usualmente ajustada al borde del tubo para prevenir “enganches” y brindar ayuda proveniente del cable cabestrante. Lechar el espacio anular entre el tubo existente y el forro es usualmente requerido. Una zanja guía es necesaria para permitir el acceso del forro. Este acceso es comúnmente situado en arreglos o curvas, donde los revestimientos no pueden utilizarse. Los cilindros son utilizados para proveer soporte al forro y para prevenir daño al ser éste jalado hasta la posición. Previa la inserción del revestimiento, las conexiones de servicio necesitan ser excavadas y desconectadas.

Tamos de tubo deben ser unidos en una sarta para formar un forro continuo, o ser unidos previamente a la inserción, si no hay espacio para almacenar dicha sarta.

Los tubos pueden unirse mecánicamente o gracias a soldadura por fusión en los extremos. Todos los collares externos deben ser removidos para facilitar la inserción.

Después de insertar el revestimiento, y previo a lechar, las conexiones laterales necesitan ser identificadas y realizarse de nuevo en el forro. Esto se hace usualmente excavando en la posición de las laterales.

Revestir con tubos continuos típicamente resulta en una reducción de la sección trasversal y en la rugosidad del tubo, resultando en un descenso global en la capacidad de transporte de fluido de arriba del 30%.

Esta técnica es generalmente llevada a cabo donde el espacio es limitado, gracias a que se puede instalar el forro hidráulicamente desde el pozo de acceso. En esta instancia el forro es unido en la zanja y luego los gatos hidráulicos son utilizados para empujarlo hasta la correcta posición.

Ventajas:

- La inserción del revestimiento es rápida.
- Una habilidad necesaria es relativamente baja.
- Varios cientos de metros de tubo pueden forrarse en una sola operación.
- Es menos costoso que la tradicional excavación.
- El revestimiento es capaz de acomodarse a radios de curvatura grandes.

Limitaciones:

- Reducción en el diámetro de la tubería.
- La técnica requiere fundición.
- Una zanja guía es necesaria.
- Excavaciones locales son necesarias para reconectar los servicios.

- El flujo debe ser desviado durante el trabajo.

Datos técnicos:

- Diámetro de tubería: 63 a 2500 milímetros.
- Material del forro: polietileno.
- Material de la tubería: cualquiera.
- Máxima longitud de instalación: 300 metros.

4.3 Revestimiento curado en la tubería

Es una técnica de renovación consistente en la inserción de tubo flexible de fibra matriz, el cual es relleno de resina térmica, dentro de una tubería de agua que produce un tubo estructural al ser curado.

Previa la inserción del tubo de revestimiento, las conexiones son cerradas y cualquier obstrucción removida y el tubo limpiado. El forro es entonces insertado y curado. Una vez es logrado el curado completo, las conexiones y los laterales del tubo renovado, alcantarillados, son abiertas.

El tubo de revestimiento es construido en dos partes: la fibra matriz que contiene un líquido de resina térmica, y una capa externa a la manga, plástica, la cual permite relativamente un fácil y limpio manejo del tubo que reviste antes y durante la instalación.

La fibra matriz puede servir para varios propósitos, tanto actuar como un depósito para el sistema de resina o también contener fibras de refuerzo para permitir que un forro compuesto sea instalado. El método de instalación se da al invertir el revestimiento. Un extremo del forro es abrazado o sujeto con un aro de inversión al acceso del tubo y luego insertado al mismo.

Las manufacturas utilizan diversas formas para dar vuelta al forro, incluyendo agua, espuma o aire comprimido. Durante la inserción del forro éste se va dando vuelta conforme viaja por la tubería, resultando al revés, en la superficie exterior de la manga plástica, que viene a ser la superficie interna del tubo reparado, con el compuesto de resina estando en contacto con la tubería existente. Un pre-forro es en ocasiones utilizado para asegurar que la resina no entre en contacto con el tubo o se pierda al desplazarse por una conexión. Este pre-forro puede también ser utilizado para controlar la infiltración.

Figura 18. **Torre de inversión**



Fuente: **ISTT**

La presión en el tubo, debida ya sea al agua, espuma o al aire comprimido, presiona al forro de resino contra la pared del tubo original. Una vez el revestimiento ha encontrado el final de la sección de tubo a reparar, ya sea agua caliente o espuma, son introducidas a la tubería para curar el resino térmico. Este resulta en un tubo estructural duro curado en sitio.

La presión interna utilizada para mantener el tubo de revestimiento contra la pared del tubo original puede crear un agujero en el forro en donde se localice una conexión.

Un robot cortador será utilizado para reabrir conexiones para restaurar el flujo, y una inspección final de cámara CCTV es luego realizada. Los sistemas alternativos utilizan un cabestrante para instalar el tubo revestimiento. Estos forros son empujados dentro del tubo huésped como tubos colapsados, luego inflados y curados. Se inflan generalmente utilizando aire comprimido, y son curados por espuma. Un sistema utiliza una manguera de PVC que se inserta al forro y lo llena con agua para mantener la presión sobre el forro contra la pared del tubo original, mientras éste se cura a temperatura ambiente. El tubo de PVC es luego removido.

Algunos sistemas utilizan luz ultravioleta para curar la resina. Luego de limpiar el tubo y desviar el flujo, el forro impregnado es insertado al tubo principal utilizando aire comprimido. El revestimiento es jalado por un cable cabestrante, el cual es luego utilizado para remolcar el montaje de luces UV. El curado es efectuado por un tren de luces UV las cuales son jaladas por el forro inflado a un ritmo predeterminado. El proceso no es sensitivo a la temperatura del suelo.

Algunos sistemas tienen la resina almacenada entre los instaladores internos y externos, para prevenir que entre en contacto con el ambiente y para reducir vapores por estireno durante la instalación.

Ventajas:

- Buen ritmo de renovación.
- Variaciones pequeñas de diámetro del tubo original son conseguidas.

- Fundir entre el revestimiento y el tubo es generalmente innecesario.
- Los sistemas son capaces de negociar curvas en la tubería pero arrugamiento local puede ocurrir.
- Varios sistemas de resina están disponibles para dar la resistencia química requerida.

Limitaciones:

- Número limitado de resinas han sido aprobadas para utilizar en tuberías de agua potable.
- Las conexiones requerirán selladura después de ser cortadas.
- Personal entrenado con equipo especial es requerido.
- El costo de instalación es alto para tramos pequeños.
- El tubo original no debe tener una deflexión vertical mayor del 10%.
- Sobre bombeo es necesario para todos los flujos.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro de tubería: 75 a 2500 milímetros.
- Material del tubo original: cualquiera.
- Efecto en la sección transversal: Reducción < 10%.
- Máxima longitud de instalación: 750 metros.

4.4 Forro inconexo

Técnica británica de renovación consistente en la instalación de secciones inconexas de tubo, las cuales son más cortas que la sección a renovar y están unidas desde afuera o en la tubería misma para formar un forro continuo.

Para permitir que un alcantarillado sea renovado, éste debe ser primero limpiado y cualquier raíz o incrustación removida. Las conexiones laterales deben ser excavadas y desconectadas. Las unidades individuales de revestimiento son pasadas adentro del alcantarillado vía pozos de visita existentes, o donde es necesario, en pozos de acceso contruidos. Estas unidades pueden ser de GRP o plástico y son generalmente de forma circular, aunque otras secciones transversales pueden utilizarse. Las unidades pueden instalarse para ambas situaciones con capacidad de alojar o no al personal.

En los sistemas que no poseen capacidad de alojar a una persona las unidades de revestimiento son individualmente instaladas dentro del tubo defectuoso. Estas unidades son unidas en el pozo de acceso excavado y luego empujadas o jaladas dentro la tubería. Esto continúa hasta que la longitud entera de alcantarillado ha sido revestida. Para los alcantarillados que logran albergar el tamaño de una persona su revestimiento empieza desde la posición más alejada del punto de acceso, con las unidades forro siendo pasadas por el área original, posicionadas y unidas. Longitudes pequeñas con frecuencia son forradas y el espacio anular fundido, antes de continuar con la siguiente sección.

Existen diferentes métodos de forro inconexo disponibles, utilizando una variedad de materiales y sistemas de unión.

Ventajas:

- Rápida inserción.
- Es capaz de forrar curvas de gran radio.
- Secciones transversales que no son circules son logradas.

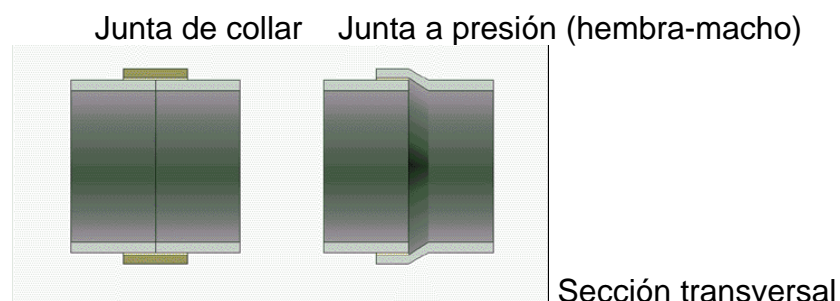
Limitaciones:

- La técnica quizá requiera fundición.
- La reducción de la sección transversal es significativa.
- Excavaciones locales son generalmente necesarias para reconexiones laterales en alcantarillas que no permiten el acceso a personas.
- Los flujos son desviados durante la instalación y reconexión.
- Para alcantarillados que permiten el acceso de personas, los requerimientos de seguridad pueden resultar en pozos de acceso adicionales.

4.4.1 Revestimientos GRP/GRC

Los forros de plásticos de vidrio reforzado (*glass reinforced plastic GRP*) y concreto de vidrio reforzado (*glass reinforced concrete GRC*) pueden utilizarse en tuberías tanto presurizadas como sin presión. Las unidades son tanto moldeadas, enrolladas en filamento, como hiladas centrifugadamente. Las unidades son unidas tanto por espitas y por juntas zócalo o por un collar de extremo tipo junta. Estas justas son además selladas.

Figura 19. **Juntas GRP/GRC**



Fuente: **ISTT**

Datos técnicos:

- Rango de diámetro de tubería: 300 a 2000 milímetros.

- Material de revestimiento: GRP, GRC.

4.4.2 Revestimientos plásticos

En esta forma de forro inconexo las unidades pueden ser fabricadas tanto de polietileno o de polipropileno. En alcantarillados se conectan manualmente las unidades de forro, en el pozo de visita o en el acceso excavado y luego son empujadas o jaladas hasta su posición, utilizando un equipo de cabestrante. Estas unidades son ensambladas a presión o por un sistema de dientes y las sisas son selladas por un aro de hule que funciona a manera de empaque.

Estos métodos de unión significan que no hay salientes externas en el revestimiento. Como resultado, el forro puede conformarse ajustadamente al perfil del alcantarillado.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro de tubería: 100 a 800 milímetros.
- Material del tubo original: cualquiera.
- Material del revestimiento: polietileno, polipropileno.

4.4.3 Moldeado

En este sistema las unidades de revestimiento son hechas de polietileno, las cuales han sido moldeadas por rotación para la especificación deseada. El diámetro y grueso de pared de las unidades es específico para cada aplicación, al fabricarse un molde de acero de la forma del alcantarillado. Los revestimientos son normalmente de 2 metros de longitud e incluyen capuchones de protección final.

En el sitio, los forros son unidos utilizando fusión (donde no entran personas) y juntas a base de collares (donde si entran personas). Las uniones son realizadas en el acceso excavado y luego el forro es llevado a posición por un cabestrante. El anular sobrante es lechado utilizando mezcla de uso general o de bajo peso.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro de tubería: arriba de 1200 milímetros.
- Material del tubo original: cualquiera.
- Material de revestimiento: Polietileno.
- Máxima longitud de instalación: 200 metros.

4.4.4 Interline

Este método de forro inconexo varía de los descritos anteriormente en que el revestimiento consiste de dos partes. Una manga doble de material transparente es insertada primero dentro del alcantarillado y mantenida inflada utilizando un alto volumen, bajo presión de aire. Longitudes cortas de forro PVC, PE o GRP son luego sopladas o jaladas a posición. Una cámara CCTV es utilizada para denotar la posición de las conexiones laterales, las cuales luego son marcadas en la posición apropiada en las unidades de revestimiento y las aberturas hechas. Una vez las unidades están en posición, es bombeada una lechada entre las dos mangas.

Después de revestir, la posición de las laterales es identificada por las protuberancias en la manga. Las cortadoras mecánicas pueden luego localizar y rehacer las conexiones.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro de tubería: 100 milímetros hasta albergar una persona.
- Material del tubo original: cualquiera.
- Material de revestimiento: PVE-U, PE, GRP.

4.5 Ferro-cemento

Técnica de origen británico para renovar alcantarillados utilizando materiales cementantes y elementos de acero.

Existen dos métodos por los cuales el forro de ferro-cemento puede aplicarse a alcantarillados; tanto esparcido *in situ* o como segmentos pre-fabricados para su posterior instalación. En el primero de estos métodos los paneles pre moldeados son posicionados y fundidos en el sitio. El refuerzo de acero es luego ajustado a la cota, alrededor de las paredes e instalado en el alcantarillado. El mortero de cemento es luego esparcido en la armadura en dos capas, con un fino cepillado final.

Figura 20. **Aplicado *in situ***



Fuente: **ISTT**

El sistema consiste en producir unidades de material compuesto (hierro-concreto). Estas piezas pueden estar completas, como forro inconexo o como segmentos para ensamblar en el alcantarillado. Se producen en similitud a las del sistema *in situ*, el acero de refuerzo es arreglado a la forma requerida y luego fundido. Estas unidades prefabricadas son llevados al alcantarillado vía pozos de visita, posicionados manualmente por personal y fundidos. Este sistema puede también ser aplicado a alcantarillados que no tienen capacidad de albergar personal, donde las unidades deben ser posicionadas hidráulicamente. Ambos sistemas requieren una limpieza minuciosa del alcantarillado antes de su aplicación.

Ventajas:

- Flujos pueden negociarse algunas veces.
- La variación de la sección transversal puede ser rápidamente acomodada.
- Las conexiones laterales son manejadas con facilidad.

Limitaciones:

- Es requerido un control de infiltración.
- Es indispensable contar con las condiciones de seguridad para cuando los operarios se introducen y quizá más pozos de acceso sean necesarios.
- Un nivel de habilidad alto del operador es necesario.
- La reducción en la sección transversal y en la capacidad hidráulica puede ser importante.
- Las conexiones laterales cerca del nivel *invert* tal vez requieran excavación.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro de tubería (*in situ*): tamaño para una persona.

- Rango de diámetro de tubería (pre fabricado): 900 a 1500 milímetros.
- Material de revestimiento: ferro-cemento
- Rango de diámetro de tubería (*in situ*): tamaño para una persona.

Figura 21. **Forros prefabricados**



Fuente: **ISTT**

4.6 Revestimiento por segmentos

Técnica británica de renovación, la cual utiliza secciones prefabricadas, ensambladas dentro de una tubería con capacidad de albergar personal, para formar el forro.

El revestimiento es generalmente construido de dos piezas, unidas longitudinal y circunferencialmente. Estas unidades están fabricadas tanto de cemento reforzado de vidrio (GRC), plástico reforzado de vidrio (GRP), concreto reforzado de plástico (PRC), como de concreto.

Figura 22. **Previo lechar**



Fuente: **ISTT**

La técnica consiste en pasar las unidades dentro del alcantarillado, utilizando un pozo de visita o un acceso excavado especial. Las unidades son luego posicionadas y ensambladas manualmente, con el auxilio de equipo levantador, transportador y de un cabestrante. El forro empieza en la adyacencia del pozo y cuando cada unidad está en su lugar, las unidades que van más adelante son introducidas por el área ya forrada, después que las unidades han sido ensambladas el anular es fundido y las conexiones laterales son restauradas.

Previa la aplicación del revestimiento por segmentos, el alcantarillado debe ser limpiado y cualquier incrustación, depósito, raíz removidas.

Ventajas:

- El revestimiento es capaz de acomodarse en curvas de gran radio.
- Secciones transversales no circulares pueden trabajarse.
- Sección fácil de cortar para permitir la reconexión lateral.

- Habilidad baja es requerida.
- Las unidades pueden ser asentadas en condiciones de humedad.
- Flujos relativamente largos pueden ser tolerados durante la instalación.

Limitaciones:

- La reducción de la sección transversal del tubo es significativa.
- Control de sobre bombeo puede ser necesario.
- Requiere condiciones de seguridad para los hombres que instalarán dentro del alcantarillado.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro del tubo: que entre una persona.
- Material de la tubería original: ladrillo, concreto, arcilla y piedra.
- Material del revestimiento: GRP, GRC, PRC, concreto y concreto reforzado.

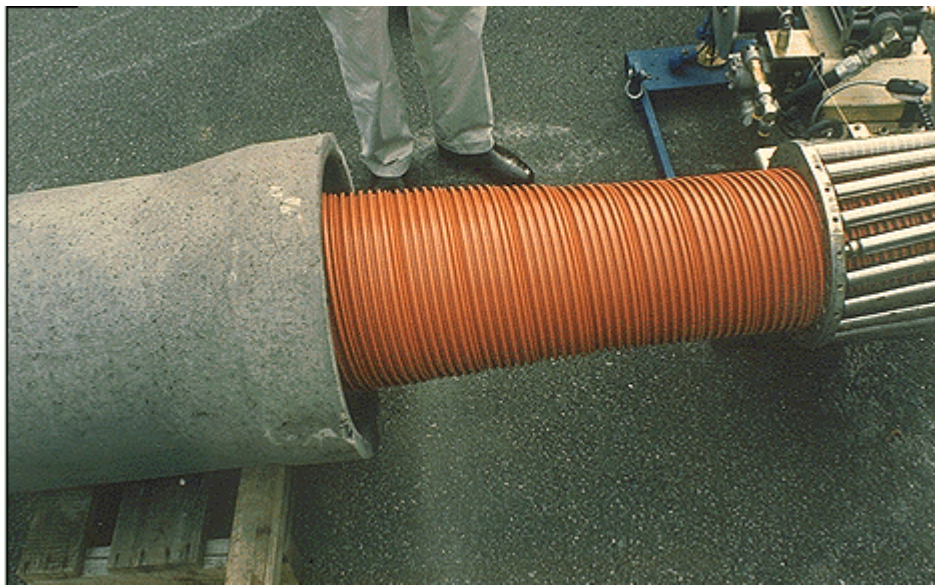
4.7 Revestimiento en espiral

Técnica que tubo su origen en Australia, consistente de una banda plástica acanalada, la cual es enrollada para formar un tubo continuo y luego instalada en la tubería defectuosa.

El proceso es utilizado para renovar ambas tuberías donde entran personas y en las cuales no. Consiste en la formación de un forro estructural de plástico con una banda. La banda tiene, generalmente, una superficie exterior con una nervadura en forma de T de bordes enclavijados. Para sistemas donde no entra una persona, esta banda es alimentada por una máquina zigzageante la cual ajusta o une los bordes de la banda juntos para formar un revestimiento continuo.

La máquina zigzageante está localizada en el fondo del pozo de visita. La banda perfilada es alimentada dentro la máquina, la cual transforma la banda en un enrollado helicoidal, tubo cilíndrico. Repello de los espacios es usualmente requerido.

Figura 23. **Forro en espiral**



Fuente: **ISTT**

Los rollos de tubo espiral ajustado están disponibles. En este caso el forro es formado en un diámetro considerablemente pequeño en comparación al tubo a ser renovado y temporalmente unido. Una vez insertado, por rotación del extremo del revestimiento, la junta está hecha para resbalar y el diámetro es expandido y hace un contacto cercano con el diámetro interno del tubo existente. Lechar no es necesario. El contacto cercano con la pared del tubo existente asegura que cualquier pérdida en la sección transversal sea mínima.

Para los sistemas donde entra personal, el alcantarillado es primero limpiado y cualquier incrustación, raíz o estorbo lateral removido.

Carretes de bandas de perfiles plásticos son luego introducidos dentro del pozo y dentro del alcantarillado. El revestimiento es luego unido utilizando una banda delgada la cual conecta el borde de los forros. Esto es hecho manualmente, desde adentro del tubo. El anular es luego fundido.

Ventajas:

- Longitudes largas pueden instalarse en una simple y rápida operación.
- El revestimiento puede proveer un soporte estructural.
- Curvaturas de gran radio pueden trabajarse.
- Cambios de diámetro en la tubería pueden lograrse.

Limitaciones:

- Sólo secciones circulares pueden trabajarse.
- Personal entrenado es requerido.
- Las excavaciones pueden requerirse para reinstalar las conexiones laterales.
- La reducción de la capacidad hidráulica puede ser significativa.
- Se requiere un control de sobre bombeo.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro de tubería: 150 a 1000 milímetros.
- Material de revestimiento: PVC.
- Material de la tubería existente: cualquiera.

4.8 Forro espray

Técnica de aplicación de revestimientos no estructurales de cemento o resina. Ambos tipos de tuberías pueden tratarse, las que albergan y las que no, el tamaño de una persona.

Estos son normalmente utilizados para combatir problemas en la calidad del agua.

4.8.1 Revestimiento de cemento

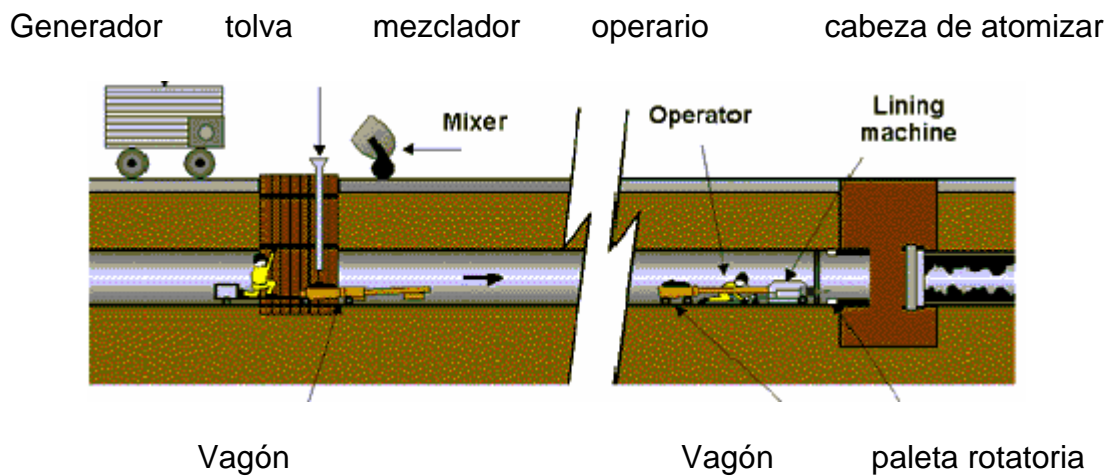
Esta técnica de renovación, para dar un soporte no estructural, consiste en la aplicación de mortero de cemento o concreto en la parte interna del tubo.

Para tuberías de 75 a 650 milímetros de diámetro el mortero de cemento es aplicado utilizando una cabeza de atomizar la cual es sujeta a la superficie de la plataforma montada, vía mangueras. La plataforma consiste de una tolva, mezclador, bomba y un carrete de manguera. El mortero de cemento es bombeado a la cabeza de atomizar por las mangueras. Como esta cabeza es empujada, el revestimiento es atomizado en el interior del tubo. Una paleta llana puede incorporarse en la cabeza para proveer un acabado al forro. Un revestimiento de aproximadamente 4 a 8 milímetros de grueso puede ser logrado de esta manera.

Para diámetros mayores a 650 milímetros la cabeza de atomizar y la tolva de cemento son incorporados dentro de una unidad que circula a lo largo del recorrido de la tubería. El mortero es mezclado sobre el terreno, luego transportado por accesos excavados a la unidad de atomizar. El mortero es bombeado desde la tolva a la cabeza de atomizar, donde éste es aplicado al tubo. Las paletas rotatorias siguen la cabeza de atomizar para asegurar un acabado liso al revestimiento.

OPC (cemento pórtland ordinario) es el cemento más común utilizado para revestir *in situ*; aunque suele no ser utilizado en aguas suaves (donde la alcalinidad de bicarbonato del agua es menor a 55 mg CaCO₃/l) debido a la cal del cemento. Un revestimiento de cemento que contiene 65% de BFS (Puzolana de alto horno) fue desarrollado para minimizar la lixiviación. Este cemento no debe ser utilizado en aguas con alcalinidad de bicarbonato de menos de 35 mg CaCO₃/l.

Figura 24. **Procedimiento de aplicación**



Fuente: **ISTT**

En alcantarillados se debe limpiar para remover las incrustaciones, raíces y cualquier obstrucción lateral. El material apropiado para revestir es aplicado utilizando una manguera de mano, la cual está dirigida a la superficie del alcantarillado.

Ventajas:

- Mejora en la calidad del agua y algunas veces en el flujo.
- No es necesario reabrir las conexiones de servicio.
- Excavación mínima es requerida.
- La variación en la sección transversal puede ser realmente cómoda.
- Los flujos pueden ser adecuados, en ocasiones.
- Las conexiones laterales se manejan fácilmente.
- Excavación mínima, aproximadamente cada 100 metros.
- Mínima reducción de la sección transversal.
- Radios cortos y largos pueden trabajarse.

Limitaciones:

- El tiempo de curado puede ser significativo.
- Se requiere de un abastecedor alternativo.
- No es recomendable su aplicación condiciones de agua suave.
- Inspección del tubo con CCTV se requiere antes y después.
- No tiene integridad estructural, uso limitado para tuberías estructurales.
- Alto nivel de entrenamiento necesario.
- Una relativa lenta aplicación.
- Requiere medidas de seguridad para el personal de ingreso al alcantarillado.

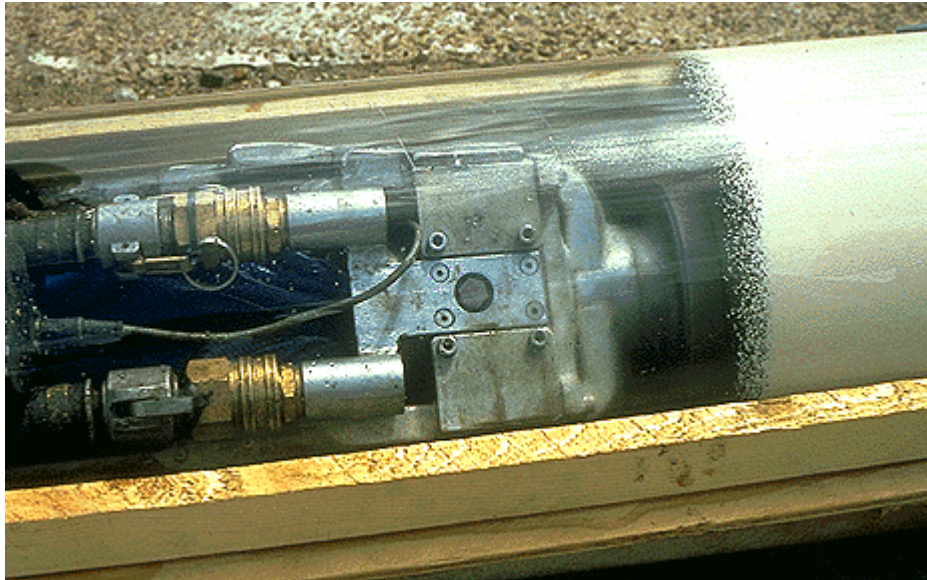
Datos técnicos:

- Diámetro de tubería: 75 a 3000 milímetros.
- Material de tubo existente: hierro dúctil, acero, concreto, cemento.

4.8.2 Revestimiento de resina epóxica

Técnica de origen británico aplicada para proveer un forro no estructural a los servicios de agua.

Figura 25. **Forro en espray**



Fuente: **ISTT**

La resina epóxica utilizada en esta técnica está hecha de dos partes: la resina y un endurecedor. Estos materiales son recomendados para su contacto con agua potable. El equipo de revestir consiste de una plataforma montada en la superficie y una unidad de aplicación. La plataforma incorpora compartimientos de reserva para los materiales de revestimiento, equipo de bombeo y mangueras. La unidad de aplicación consiste de un mezclador y una cabeza de atomizar.

La entrada al servicio es lograda en ubicaciones apropiadas, típicamente cada 100 metros. La sección aislada del servicio es limpiada y luego un equipo CCTV es conducido para chequear que la tubería esté libre de depósitos y que no exista agua estancada.

Los materiales epóxicos son bombeados a la unidad de aplicación, donde ellos son mezclados y luego atomizados al tubo. La unidad es introducida al servicio, dejando un revestimiento de un milímetro de grueso. Después de la aplicación, la resina epóxica es dejada curar por alrededor de 16 horas antes que el servicio se reactive.

Ventajas

- No es necesario reabrir las conexiones de servicio.
- Puede mejorar las características del flujo.
- Excavación mínima requerida.

Limitaciones:

- El tiempo de curado puede ser significativo.
- Un suministro alterno es requerido durante la aplicación y el curado de la resina.
- Una inspección con CCTV del tubo es necesaria antes y después de revestir.
- No tiene integridad estructural.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro: 75 a 300 milímetros.

4.8.3 Revestimiento Polimérico

Técnica de origen británico para renovar alcantarillados, materiales epóxicos y poliuretanos pueden aplicarse a líneas de diámetro pequeño, circular, para dar revestimiento estructural a la superficie interna.

Existen dos métodos de aplicación del revestimiento polimérico; bombeado y no bombeado. En el primero de estos sistemas la resina y el endurecedor son bombeados a la cabeza de atomizar por vía de mangueras separadas. Estos dos materiales son mezclados en la cabeza de atomizar y luego aplicados al alcantarillado. La cabeza de atomizar es introducida al alcantarillado, la velocidad de circulación dictamina el grueso del revestimiento. En los sistemas sin bombeo la cabeza es sujeta también con un cable a través del alcantarillado. Como fuere, la resina y el endurecedor están ya contenidos dentro de las mangueras, alimentando la cabeza de atomizar. La cantidad de material en estas mangueras controlan el grueso del revestimiento, junto con el ritmo de progreso de la cabeza. Éstas proveen a la cabeza conforme ésta pasa, el material es extraído, mezclado y luego aplicado. El consumo de las mangueras pasa por la parte de atrás de la cabeza, para prevenir que estas mangueras dañen el revestimiento, la resina debe ser curada rápidamente, típicamente dentro de 2 ó 3 minutos.

Previa aplicación de cualquiera de estos sistemas, el alcantarillado debe ser limpiado para remover grasa, incrustaciones y raíces. También se hace necesario sellar el alcantarillado contra infiltración y remover el agua estancada. Flujos dentro del alcantarillado deben también ser divididos durante la aplicación y curado del revestimiento.

Ventajas:

- Relativamente una rápida instalación.
- El trabajo puede realizarse desde pozos de visita existentes.
- Los laterales no necesitan reconexión.
- Cien metros de tubería pueden ser revestidos en una sola operación.
- Las características del flujo pueden ser mejoradas.

Limitaciones:

- A largo plazo las propiedades estructurales no han sido establecidas.
- El curado de la resina es necesario.
- Sobre bombeo es requerido.
- El control de infiltración es necesario.
- Aplicación de un grueso uniforme para un revestimiento estructural puede ser difícil.
- Deformación de los tubos existentes puede causar problemas.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro: 250 a 600 milímetros.
- Material de revestimiento: resina epóxica y poliuretano.
- Material de tubería existente: concreto, barro cocido, etc.
- Longitud típica de instalación: cien metros entre pozos de visita.

4.9 Concreto reforzado

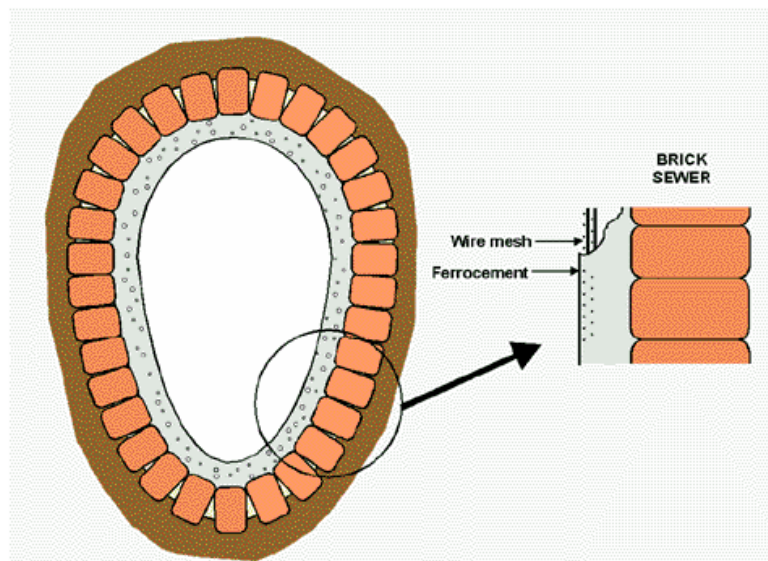
Técnica de origen británico, consiste en renovar alcantarillados utilizando materiales como cemento, acero y fibras polímeros.

En este método se ajusta acero de refuerzo a la pared del tubo. El molde o armadura de acero es ensamblada y centrada en el alcantarillado utilizando tornillos hidráulicos. Concreto es luego bombeado a la armadura para formar el forro. Una vez el concreto ha fraguado, la formaleta es removida y puesta en la siguiente sección de alcantarillado al ser revestido.

Los cementos que contienen fibras de acrílico pueden ser utilizados como un material de revestimiento. En esta instancia el concreto es atomizado directamente en la superficie interna del alcantarillado.

Ambos sistemas requieren una limpieza minuciosa del alcantarillado previa su aplicación.

Figura 26. **Sección del forro**



Fuente: **ISTT**

Ventajas:

- La variación en la sección transversal puede ser ajustada.
- Las conexiones laterales son relativamente fáciles de manejar.

Limitaciones:

- Se requiere de un control de infiltración.
- Se necesitan medidas de seguridad para los hombres que entran en el alcantarillado.

- Alto nivel de habilidad por parte del operador es necesario.
- La reducción en la sección transversal es significativa y la capacidad hidráulica por ende afectada.
- Conexiones laterales cerca del nivel invert tal vez necesiten excavación.

Datos técnicos:

- Diámetro de tubería: espacio para un hombre.
- Material de tubo existente: concreto, piedra, ladrillo.
- Material de revestimiento: concreto, acero y fibras polímeros.

4.10 Inserción en vivo

Consiste en la instalación de un revestimiento mientras el servicio de gas permanece en servicio.

Este sistema consiste en exponer de primero el tubo y colocar un sistema *by-pass* para permitir que el gas siga fluyendo. El tubo es luego quebrado entre el *by-pass* y un diseño de glándula especial de inserción conectado al final del tubo a renovarse.

El revestimiento de polietileno es entonces introducido dentro del servicio, vía esta glándula, y empujado a lo largo de la línea de tubería. El espacio anular entre el forro y el tubo permite que el flujo continúe.

El primer borde del revestimiento es ajustado con la nariz cónica que permite al gas fluir por el forro. El otro extremo del forro tiene una válvula de purga.

Una vez el revestimiento ha sido empujado a su posición, una excavación de salida es hecha y otro *by-pass* ajustado. Resina en espuma expansiva es

luego bombeada dentro del espacio anular en ambos extremos del servicio para prevenir fuga de gas. La glándula de inserción y la nariz cónica son después removidas y el forro conectado al sistema de distribución. La operación es completa con la remoción de los sistemas de *by-pass*.

Ventajas:

- No se interrumpe el suministro.
- Las conexiones de servicio se pueden renovar mientras el servicio continua.

Limitaciones:

- Un nivel alto de habilidad es requerido.
- Datos técnicos:
- Rango de tamaño de tubo: arriba de 125 milímetros de diámetro.
- Material de revestimiento: polietileno.
- Material de la tubería existente: hierro, acero.
- Longitud típica de instalación: arriba de 400 metros.

5. TÉCNICAS DE REPARACIÓN Y MANTENIMIENTO

5.1 Restregado de aire

Método de limpieza no agresivo que utiliza aire comprimido, soplado dentro del flujo de agua, para remover deposiciones flojas y pequeños animales. Se utiliza para mejorar la calidad del agua.

La técnica consiste en introducir aire comprimido dentro del servicio de agua, por medio de la boca del tubo o un hidrante. El aire es filtrado para asegurar que no se contamine el suministro de agua. Éste es utilizado para propulsar una pequeña cantidad de agua a lo largo del servicio a una alta velocidad. Esto perturba a las deposiciones y escombros en la tubería, los cuales son suspendidos en el agua, y es arrojada afuera en una boca o hidrante corriente abajo. El restregado de aire es una técnica bien establecida y ampliamente utilizada, que operarios experimentados pueden utilizar para limpiar arriba de 8 kilómetros por día. Las interrupciones son usualmente limitadas por la longitud a ser limpiada.

Ventajas:

- El acceso a la tubería es a través de los arreglos existentes así que la excavación es requerida en mínimas cantidades.
- Grandes longitudes pueden limpiarse.

Limitaciones:

- Los clientes tal vez se alarmen y se desanimen al utilizar agua durante la operación.
- El método puede ser difícil de aplicar cuesta abajo.
- Para tuberías de hierro, la limpieza puede causar un deterioro temporal en la calidad del agua, debido a la perturbación de las deposiciones de corrosión y el incremento en las concentraciones de hidro-carbonos aromáticos poli-cíclicos (PAH_s) por forros de alquitrán de carbón dañados.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro: 75 a 200 milímetros.
- Material de tubería: hierro y hierro dúctil.
- Longitud típica de aplicación: 1 kilómetro.

Costos:

Al ser una técnica principalmente utilizada para el mantenimiento de tuberías de agua potable, se incurre en los costos siguientes:

El costo capital consiste en el equipo conformado por el compresor y los inyectores que se ajustan a la toma de agua.

Los costos de operación en los que se incurre al instalar y operar el equipo, además del número de operadores a cargo.

5.2 *Flushing*

Método no agresivo de limpieza de tuberías de agua el cual consiste en permitir que un alto flujo de agua circule por tubería. *Flushing* se encarga de mejorar la calidad del agua.

Para limpiar una tubería, una salida de agua es abierta hasta que el flujo adecuado es descargado. El flujo perturba las deposiciones sueltas y escombros dentro del tubo. Estos son suspendidos en el agua y son eventualmente botados. Para asegurar una operación de limpieza exitosa, la red debe ser limpiada sistemáticamente, trabajando corriente abajo así que el líquido entra a la red desde tuberías limpiadas previamente.

Figura 27. **Descarga de agua**



Fuente: **ISTT**

Ventajas:

- Técnica simple que necesita de una labor mínima.
- Secciones largas de la red pueden ser limpiadas.
- Existe una perturbación mínima a los usuarios.

Limitaciones:

- Grandes cantidades de agua son utilizadas las cuales deben subsecuentemente ser desechadas.
- Es inefectivo, salvo se utilice gran cantidad de agua y a alta velocidad.
- Es inefectivo en tuberías seriamente tuberculosas.
- Debe sistemáticamente hacerse, para evitar problemas en la calidad del agua, en otras partes de la red.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro: arriba de 150 milímetros.
- Material de tubería: cualquiera.
- Longitud típica de aplicación: 500 metros.
- Longitud típica de avance diario: 3 a 5 kilómetros.

Costos:

Se utiliza con frecuencia para mantenimiento de tuberías de agua. Los costos del equipo no son significativos. Quizá el costo mayor lo paga el ambiente, por la cantidad de agua utilizada en el proceso, incluyendo su eliminación.

5.3 Limpieza a chorro

Método agresivo de limpieza de tuberías, el cual utiliza agua a presión directamente en el interior de la tubería.

Se utiliza para remover toda clase de sedimentos incluyendo incrustaciones, deposiciones de corrosión y también viejos, dañados o defectuosos revestimientos. Esta técnica es usualmente seguida de un re-revestimiento, para mantener la calidad del agua dentro de la tuberías

Este método consiste en aplicar un chorro de alta presión a la tuberías vía cortes de salida. Como esta técnica no da cuenta de la dirección del agua, el chorro puede realizarse en ambas direcciones desde un punto de acceso. Muchos arreglos o accesorios pueden limpiarse *in situ*, pero curvas o codos mayores de 22 ½ grados deben ser removidos y así encontrar puntos de acceso. La presión en la cabeza limpiadora debe ser limitada a 20 N/mm² (200 bar) para evitar daños posibles al tubo en áreas de grafitización excesiva.

La fuerza del borbotón permite que la manguera sea propulsada a lo largo de la tubería a ser limpiada. El chorro es luego retraído al punto de acceso, limpiando la tubería y forzando a las deposiciones aflojadas a regresar al punto de acceso detrás del inyector o tobera. El agua sucia de la operación es colectada en los puntos de acceso y removida para su desecho.

También es utilizada para limpiar alcantarillados con un impulsor de baja o alta presión de agua.

El proceso consiste en pasar por la longitud de alcantarillado la manguera, esto es hecho gracias a la fuerza propulsora de los impulsores de agua. La manguera es retraída, permitiendo a los impulsores remover las deposiciones y sedimentos del alcantarillado. Los impulsores de agua están angulados en la parte de atrás de la tobera, tal que una sombrilla de agua se forma, tiene el efecto de coleccionar los escombros y botarlos en el alcantarillado a medida que la manguera se regresa. Este proceso es repetido el número de veces como el volumen de escombros a desalojar puedan exceder la capacidad de carga de los impulsores. Los escombros se coleccionan en los pozos de visita, desde donde son extraídos para su tratamiento y desecho.

La limpieza a chorro puede también utilizarse para remover obstrucciones, cortar raíces y quitar óxido. En estos casos los impulsores son posicionados perpendicularmente a la tobera, para permitir una fuerza mayor en la aplicación.

Una amplia variedad de equipo de limpieza a chorro está disponible la cual opera a distintos rango de presión y volúmenes de descarga. La selección correcta del equipo depende de la tarea a realizarse y del tamaño de alcantarillado. En general un equipo de baja presión y alto volumen es utilizado para limpiar y remover sedimento, mientras que uno de alta presión y bajo volumen es utilizado para remover obstrucciones, cortar raíces y quitar óxido.

Ventajas:

- Permite remover deposiciones e incrustaciones sin dañar el tubo.
- Puede utilizarse en una amplia gama de tamaños de tubo.
- Ritmo rápido de progreso.
- Puede operarse fuera de los periodos pico de tráfico.
- El contacto manual con las deposiciones del alcantarillado pueden evitarse.

Limitaciones:

- Causa problemas severos en la calidad del agua en tuberías ferrosas gracias al hierro desprendido de los lugares tuberculosos, aumento de la actividad microbial y un incremento en los niveles de concentración de los hidro-carbonos aromáticos poli-cíclicos (PAH_s) por forros de alquitrán de carbón dañados.
- Personal entrenado se requiere.
- Se requiere de una planta especializada.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro: 50 a 1,800 milímetros.
- Material de tubería: hierro, asbestos, PVC, polietileno, concreto, arcilla y ladrillos.
- Longitud típica de aplicación: 100 metros y 250 en tuberías no ferrosas.

Costos:

Su uso es primordialmente en tuberías de agua potable y alcantarillados.

El costo mayor envuelve al equipo de limpieza a chorro.

El costo de operación al instalar y operar el equipo y el costo ambiental de trasladar y desechar las deposiciones que se producen, además del agua utilizada.

5.4 Limpieza por cerdas

Técnica agresiva de limpieza que involucra el paso de cerdas por la tubería.

Las cerdas revisten una forma de bala y por su naturaleza de construcción semi-flexible puede remover escombros al raspar o por abrasión. Los chorros de agua luego de pasar las cerdas, conforme viajan a lo largo de la tubería, también asisten a la limpieza. Las cerdas tienen diferentes superficies protectoras dependiendo de la adherencia de las deposiciones o el tipo de incrustación que se requiera remover. Éstas son pasadas por la tubería gracias a la fuerza de la presión de agua. Su velocidad es controlada para asegurar la máxima remoción de incrustaciones y alargar la vida de la cerda.

Figura 28. **Cerdas o balas**



Fuentes: **ISTT**

Esta operación es llevada a cabo varias veces en una base progresiva en la cual el tamaño de la cerda es gradualmente incrementada desde el diámetro del tubo, en sucio, a un diámetro igual al diámetro nominal. Una operación similar puede realizarse en donde la resistencia de la cerda es progresivamente incrementada.

Antes de limpiar, el servicio debe ser aislado cerrándolo corriente arriba, corriente abajo y cerrando las válvulas de bifurcación. Excavaciones de lanzamiento y recepción son realizadas. Las cerdas son lanzadas desde la abertura corriente arriba y controladas por una válvula. Para lograr un fácil acceso a la entrada del tubo y reducir pérdidas de tiempo entre el paso de cerdas, debe utilizarse un lanzador. La suciedad y el agua son colectados para su tratamiento y su posterior desecho.

Raspar en tuberías de hierro es usualmente realizado antes de revestir. Una excepción a esto puede ser limpiar el sarro de carbonato de calcio de las tuberías que llevan agua dura, donde una capa de sarro tal vez deba dejarse, con tal que proteja el tubo de mayor deterioro. Esta técnica en tuberías no ferrosas es utilizada para remover deposiciones.

Ventajas:

- La naturaleza flexible de las cerdas significa que ellas pueden utilizarse en tuberías donde el diámetro cambia.
- Las cerdas pueden negociar curvas arriba de 90 grados y también válvulas de compuerta, globo y cheque.
- Las cerdas son livianas y fáciles de instalar en el servicio.

Limitaciones:

- Causa problemas severos en la calidad del agua en tuberías ferrosas gracias al hierro desprendido de los lugares tuberculosos, aumento de la actividad de microbios e incremento en los niveles de concentración de hidro-carbonos aromáticos poli-cíclicos (PAH_s) por forros de alquitrán de carbón dañados.
- Bloqueos por férulas pueden esperarse cuando se utiliza este método de limpieza.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro: 75 a 3000 milímetros.
- Material de tubería: cualquiera.
- Longitud típica de aplicación: 2 kilómetros.

Costos:

Se utiliza principalmente para trabajar tuberías de agua potable y gas.

Se incurre en costos de equipo consistente de dos partes. Esta la parte del costo asociado con el dispositivo lanzador y el costo de las cerdas.

El costo de operación, que incluye también el de los operarios.

El costo ambiental al trasladar y desechar las deposiciones que se producen durante el proceso.

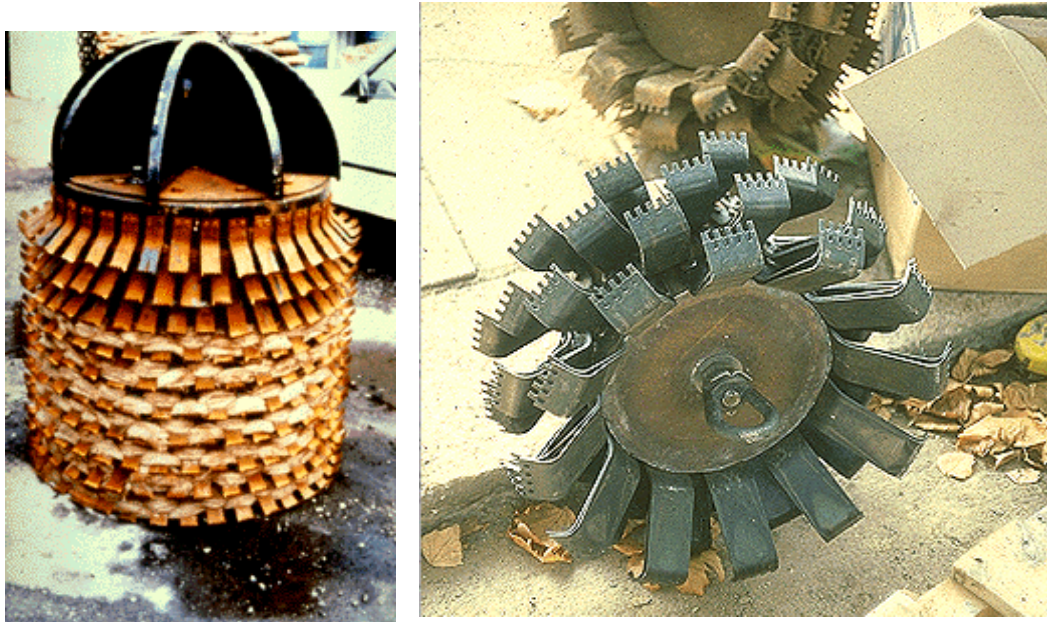
5.5 Raspado a presión

Técnica agresiva de limpieza que utiliza una unidad de raspado cilíndrica, conducida por la tubería para remover las deposiciones e incrustaciones.

La unidad de raspado consiste en un chasis cilíndrico en el cual están sujetas bandas de cuchillas de acero con resortes. Esta unidad es forzada por el tubo gracias a agua presurizada. Para mantener la presión detrás del raspador, éste forma un contacto firme y ajustado con la tubería. La unidad puede también ser “empaquetada”, donde el trapo es encajado entre las cuchillas para una mejor obstrucción al flujo de agua por eso del incremento en la presión de empuje a la unidad y en consecuencia a su velocidad de viaje. Los restos limpiados son movidos al frente por del raspador.

Para utilizar el método de raspado a presión, el servicio es expuesto y una sección, conocida como clavija, es cortada y removida. Esta sección es luego limpiada y el raspador ajustado adentro. La clavija es reconectada al servicio. Una válvula de control es abierta y a medida que la presión empuja las cerdas de raspar se mueven hacia delante.

Figura 29. **Unidades de raspado**



Fuente: **ISTT**

En el otro extremo de la sección a ser limpiada existe una válvula de descarga y una caja colectora. La válvula de descarga determina el ritmo de progreso del raspador al controlar la cantidad de agua que es liberada de la tubería. La velocidad ideal de la unidad debe ser de alrededor de 1 kilómetro por hora (km/hr). La caja colectora es utilizada para prevenir cualquier movimiento extra de la unidad.

El progreso de la unidad debe ser controlado por si ésta se atasca dentro del servicio. Esto es realizado al caminar sobre la línea de la tubería. Los transmisores de radio no pueden ser utilizados por la vibración de la unidad. La comunicación entre el operador de la válvula de descarga y la persona que inspecciona el progreso del raspador, debe ser mantenida y así la velocidad controlada.

Ventajas:

- Método bien establecido de limpieza.
- Simple de operar.

Limitaciones:

- Una presión de agua mínima de 2 bar es requerida para mover el raspador (depende del diámetro).
- Aunque esta el potencial de limpiar varios kilómetros en una operación, esto es raramente logrado por la practica de instalar reducidos en cada lado de las válvulas la cuales previenen el paso libre del raspador.
- Causa problemas severos en la calidad del agua en tuberías ferrosas, gracias al hierro desprendido de los lugares tuberculosos, aumento de la actividad de microbios e incremento en los niveles de concentración de hidro-carbonos aromáticos poli-cíclicos (PAH_s) por forros de alquitrán de carbón dañados.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro: 450 milímetros para arriba.
- Material de tubería: tubos ferrosos.

Costos:

Método aplicado exclusivamente en tuberías de agua potable.

El costo capital consiste en dos partes. Esta el costo asociado con el dispositivo lanzador y el costo de la unidad de raspado.

Los costos de operación, al instalar y usar el equipo junto con el costo de trabajadores.

Los costos ambientales de remover y disponer de las deposiciones que se colectan durante el proceso, además el costo del agua utilizada.

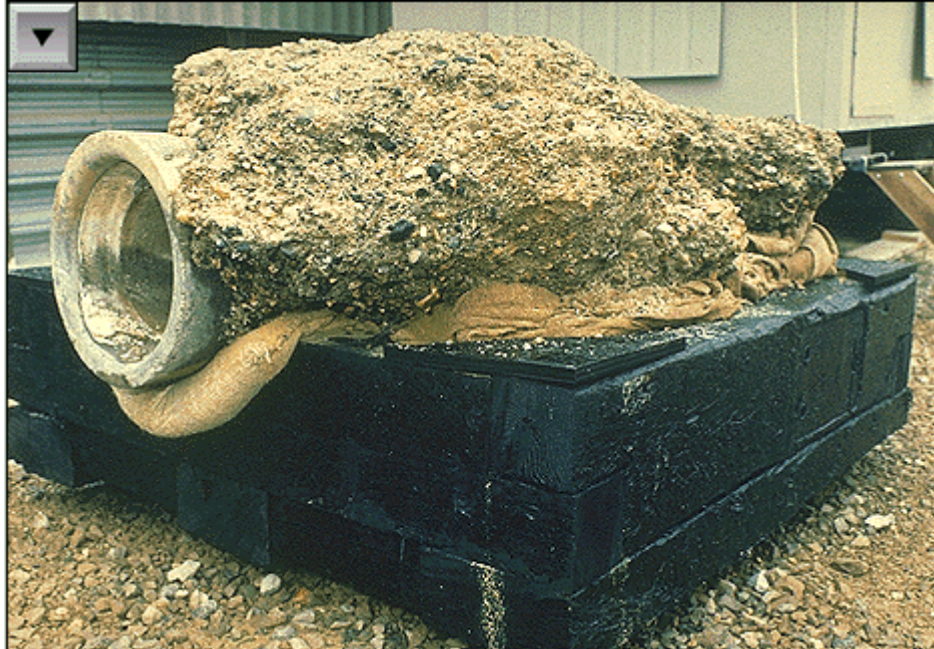
5.6 Estabilización química

Método de reparación húngaro para sellar grietas y cavidades, proveyendo una pared de superficie nueva o un suelo estabilizado circunvecino al defecto.

Se aplica típicamente a alcantarillados que son estructuralmente fuertes, pero tienen juntas defectuosas, grietas o el mortero deteriorado, lo cual permite la infiltración. Este no puede ser utilizado para reparar hoyos mayores o derrumbes.

El método de reparación trabaja primero aislando una sección de alcantarillado, entre pozos de visita. El alcantarillado es limpiado, los pozos cerrados y las laterales bloqueadas a lo largo de la longitud. Una solución química es bombeada dentro del drenaje y ésta se filtra por los defectos, al suelo circundante. Esta solución se deja por aproximadamente una hora para luego de sacarla, verter una segunda solución. Las dos soluciones reaccionan en el terreno cercano a los defectos, causando que las partículas de suelo se consoliden en un material sólido. Los laterales y pozos de visita son tratados en la misma operación. El alcantarillado es luego re-limpiado antes de volverlo a poner en servicio. El equipo para esta técnica consiste en dos tanques que contienen las soluciones estabilizadoras. Esta técnica es por tanto bastante móvil y no ocupa mucho espacio. Cualquier solución sin utilizar es regresada al los tanques para su reutilización.

Figura 30. **Tubo de concreto trabajado con esta técnica**



Fuente: **ISTT**

Ventajas:

- La infiltración es reducida.
- El acceso es vía pozos de visita existentes así que la perturbación es mínima.
- Flujos pequeños pueden tolerarse.

Limitaciones:

- El control de calidad es difícil.
- Se limita a alcantarillados que no albergan el tamaño de personal por los requisitos de materiales.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro: 100 a 900 milímetros.

- Material de tubería: concreto, arcilla, mampostería y plástico.
- Longitud típica de aplicación: 120 metros.

Costos:

Método empleado para la reparación de alcantarillados principalmente.

El costo capital consiste de tres partes. Se incurre en gasto con los tanques a utilizar para transportar los químicos, el costo de las bombas para verter los químicos hacia adentro y hacia afuera de la tubería y el sistema de filtración que se utiliza para limpiar los químicos, después.

El costo de operación, en el que se incurre al sentar y operar el quipo junto con las personas encargadas del mismo.

El costo de los diferentes químicos utilizados en el proceso de estabilización.

5.7 Reparación localizada

Se refiere a varios sistemas utilizados para realizar trabajos de reparación a tuberías, para longitudes menores al recorrido entre puntos de acceso. Si un defecto se limita a un área pequeña del alcantarillado entonces es con frecuencia más económico reparar esta sección, que renovar la tubería entera. Existe un número de diferentes sistemas de reparación para cada defecto que se puede encontrar en un alcantarillado. Estas técnicas son discutidas en detalle a continuación.

5.7.1 Sellado de junta

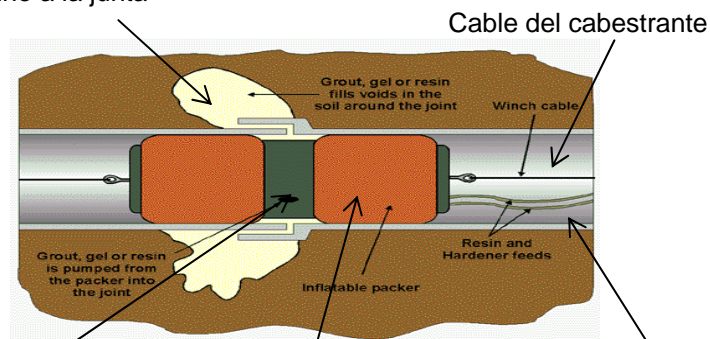
Técnica británica para reparar filtraciones en juntas al inyectar en ellas resina o una lechada, para prevenir infiltración y expulsiones.

Este sistema consiste en una cabeza reparadora inflable que es puesta en posición en la junta defectuosa. El aire comprimido es luego utilizado para inflar esta cabeza. Las secciones finales se inflaran más que la sección central, por donde se sella la sección a ser reparada. El material de reparación puede ser aplicado por la sección central, sellando la junta y cualquier vacío o hueco en el suelo circundante.

Dos formas de material reparador pueden utilizarse, tanto resina epóxica como lechada de poliuretano. En el primero de estos sistemas la resina epóxica y el endurecedor son bombeados a la cabeza reparadora donde ellos son mezclados y luego inyectados dentro de la junta. Luego se permite que cure por 3 horas antes que la cabeza sea desinflada y removida.

Figura 31. **Proceso de sellado de junta**

Lechada, gel o resina que llena los espacios vacíos en el suelo vecino a la junta



La mezcla, gel o resina es bombeado desde la cabeza reparadora

cabeza inflable

Alimentadores de resina y endurecedor

Fuente: **ISTT**

En el sistema de lechada, una resina de poliuretano, agua y una mezcla de látex son utilizados. El agua actúa como un catalizador para la resina y el látex provee un refuerzo extra al material reparador. Este sistema tiene un centro vacío, permitiendo que el flujo continúe en el alcantarillado durante la reparación. El grueso de la filtración de la junta puede ser evaluado como parte del proceso.

Previo a que la reparación se lleve a cabo, el alcantarillado debe ser limpiado y una inspección con CCTV realizada para identificar la posición de las juntas defectuosas.

Ventajas:

- No hay necesidad de excavación.
- La cabeza reparadora es flexible lo suficiente como para negociar curvas en el alcantarillado.
- El material de reparación permitirá pequeños asentamientos del tubo y del terreno antes de fallar.
- Algunos sistemas permiten que un flujo limitado continúe.

Limitaciones:

- Puede tornarse oneroso si existen numerosos defectos a lo largo de la tubería.
- Se limita a alcantarillados circulares.
- Los sistemas de resina son restringidos por la expectativa de vida del material, la cual puede ser tan pequeña, como de tan solo 40 minutos.
- Datos técnicos:
 - Rango de diámetro: 100 a 2500 milímetros.
 - Material de tubería: arcilla, hierro, concreto, PVC-U y asbesto-cemento.

- Material de reparación: resina epóxica, lechada.

5.7.2 Parchado

Este tipo de reparación consiste de un parche de pequeña longitud, impregnado con resina, el cual es posicionado sobre la sección defectuosa de la tubería. Esta técnica es utilizada para reparar agujeros o fracturas dentro del alcantarillado.

Esta técnica es similar a las del curado en la tubería. Los mismos materiales son utilizados, pero las reparaciones locales son instaladas de una manera diferente. El parche consiste de fibra de vidrio o de un tubo de poliéster, típicamente de 1 a 3 metros de largo, el cual ha sido impregnado con resina epóxica o resina de poliéster. La resina es mezclada con un endurecedor y aplicada a un tubo de revestimiento. Este forro es luego envuelto alrededor de un embalador inflable y asegurado con cinta o ganchos. El embalador es atado a un cabestrante e introducido al alcantarillado hasta que esté en la posición del defecto, luego es inflado hasta que el parche está en contacto cercano con la pared del alcantarillado.

A la resina se le permite luego curar, tanto a temperatura ambiente o pasando agua caliente por el embalador. Este proceso toma alrededor de 2 a 6 horas, después de las cuales el embalador es desinflado y removido. Previo a que la reparación comience, el alcantarillado es limpiado e inspeccionado con una CCTV para identificar la posición de los defectos.

Ventajas:

- No se necesita excavar.

- El embalador es flexible lo suficiente como para negociar pequeñas curvas.
- En algunos sistemas el flujo del alcantarillado puede continuar durante la reparación.

Limitaciones:

- Las reparaciones son limitadas a alcantarillados circulares.
- El sobre bombeo es requerido en algunos sistemas.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro: típicamente de 150 a 750 milímetros.
- Material de tubería: arcilla, concreto, ladrillo.
- Material de reparación: resina epóxica, fibra de vidrio, fieltro de poliéster y resina de poliéster.

5.7.3 Redondear

Técnica británica que se lleva a cabo generalmente, previa la renovación de una línea de tubería. Ésta consiste de la inserción de dispositivos de expansión o apoyos mecánicos para restaurar a su forma original la tubería.

Con frecuencia los sistemas de renovación son inaplicables a alcantarillados porque pequeñas áreas del mismo han sido deformadas excesivamente. Al emplear un dispositivo de redondear la forma original puede ser recuperada y fundida, revestida localmente, repararse con parches o ser forrada.

Existen diferentes métodos por los cuales se puede restaurar la forma de un alcantarillado. Un sistema, para donde no cabe personal, utiliza una sección de acero inoxidable u hoja de PVC (conocida como clip) la cual ha sido rajada longitudinalmente. Ésta es envuelta alrededor de un dispositivo expansor inflable, o embalador , que se introduce a la tubería y se jala hasta su posición en el área defectuosa. El embalador es luego inflado, expandiendo el clip reparador hasta que los dos extremos, rajados, se encuentran y se aseguran unidos. El expansor es desinflado y retirado dejando al revestimiento auxiliando a la sección dañada.

Otro tipo de técnica de redondear utiliza pequeñas longitudes de tubo PVC-U con seis segmentos con bisagras o gonzados. Cuando esta unidad reparadora está gonzada forma una figura de ocho lados. Esta unidad es insertada dentro del alcantarillado y un gato hidráulico posicionado verticalmente adentro. Este gato es extendido así que las unidades se abren hacia fuera hasta que éstas tocan y fuerzan al defecto del alcantarillado. Otro gato es posicionado horizontalmente para expandir los lados de la unidad hasta que los goznes están en posición. La reparación por unidades de expansión tiene forma circular, lo que la lleva a un contacto cercano con el alcantarillado. Los gatos hidráulicos son luego removidos y el alcantarillado puede ser revestido. Esta técnica es utilizada en tubos de 600 milímetros de diámetro en adelante.

Ventajas:

- No se necesita excavación.
- La longitud entera de alcantarillado puede ser renovada después de que las secciones han sido redondeadas.

Limitaciones:

- La reparación se limita a alcantarillados circulares.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro: 100 a 2,800 milímetros.
- Material de tubería: arcilla, concreto, ladrillo y fibra.
- Material de reparación: acero inoxidable y PVC-U.

5.7.4 Reparación robótica

Sistema suizo de reparación controlado a remoto, el cual puede encargarse de varias tareas, tales como: cortar obstrucciones, reabrir conexiones laterales e inyectar resina en las fisuras.

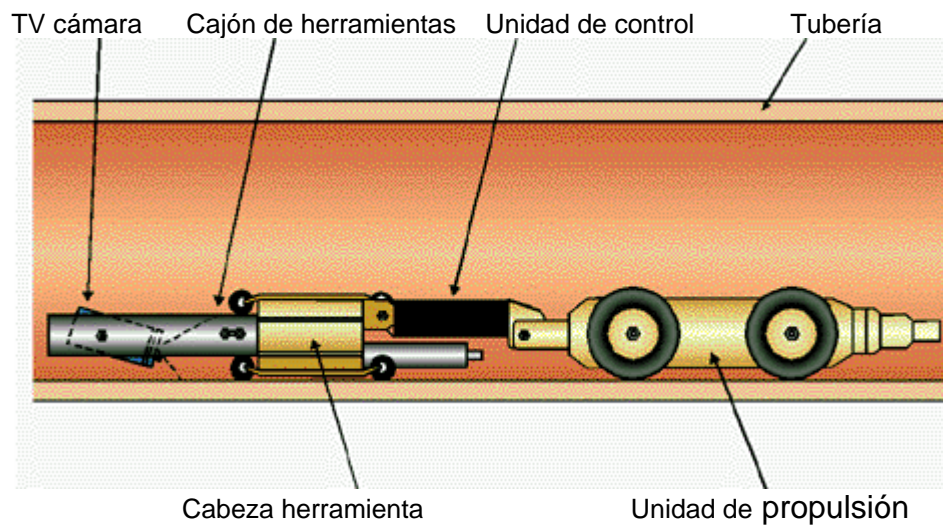
Los robots pueden utilizarse para realizar un número de trabajos de reparación tales como:

- Sellar fisuras, fracturas y fugas en las juntas.
- Remover raíces de árboles que obstaculizan.
- Reparación de agujeros en el tubo.
- Reparación de conexiones defectuosas.
- Poner una manga metálica dentro de un tubo y lecharla con resina epóxica para reparar un sección particular colapsada o reemplazar una base de tubo erosionada.
- Cortar conexiones que estorben o interfieran.
- Parar la infiltración de agua.
- Remover deposiciones cementosas de los niveles *invert* en el alcantarillado.
- Rehacer las conexiones laterales.
- Inspección por medio de CCTV.

- Fundir y rellenar vacíos en las afueras de la tubería.

Un sistema de reparación robótica típicamente consiste de un chasis sobre ruedas, al cual varias herramientas se sujetan para realizar las reparaciones necesarias. También incluye un sistema de iluminación y CCTV para permitir guiar al robot desde la superficie.

Figura 32. **Robot de reparación**



Fuente: **ISTT**

Previo a la operación de reparación el alcantarillado es limpiado e inspeccionado con una CCTV para investigar la posición y naturaleza de los defectos. Las herramientas apropiadas son montadas en el robot y cables, se ajustan al robot y a un torno o cabestrante para permitir que el mismo sea removido al surgir problemas. El robot es introducido vía un pozo de visita, desde donde éste circula a lo largo hasta el primer defecto.

Las herramientas dependen de la operación que se realizará. Por ejemplo, la reparación de fisuras y juntas, envuelve el triturar o moler el defecto, seguido de la aplicación de una resina epóxica. Raíces de árbol y laterales prominentes son molidas utilizando taladros, y la infiltración es minimizada con la inyección de gel dentro de la junta fisurada o quebrada. Previo a cada tarea, el robot debe retornar a la superficie para permitir que las herramientas apropiadas se le sujeten.

Ventajas:

- No se necesita excavar.
- Una sola máquina puede realizar varias tareas.
- Flujos pequeños pueden continuar mientras la reparación se lleva a cabo.
- Proceder bastante rápido.

Limitaciones:

- Las reparaciones no son estructurales.
- Las reparaciones epóxicas están limitadas por la vida de instalación del material, la cual puede ser tan corta como de tan solo 40 minutos al exponerse a la mezcla.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro: 200 a 800 milímetros.
- Material de tubería: arcilla, concreto, ladrillo.

5.7.5 Reparación puntual

El método de reparación puntual y lechado químico de sisas previene la infiltración por juntas o sisas de mortero deterioradas en alcantarillados de mampostería. Tiene su origen en Gran Bretaña.

Los alcantarillados existentes intactos estructuralmente, pero que sufren de infiltración se pueden reparar puntualmente.

La operación consiste en limpiar primero, utilizando propulsores a alta presión. Las sisas de mortero son entonces raspadas a mano o con herramientas neumáticas, para agrandar su profundidad a 55 milímetros. La mezcla a presión es luego inyectada a la junta limpia, en forma puntual para dar un buen acabado. La aplicación de la mezcla de mortero puede hacerse mecánicamente o a mano.

Figura 33. **Reparación puntual**



Fuente: **ISTT**

Las reparaciones pueden también llevarse a cabo al bombear mortero hacia las sisas con equipo de construcción para sellar. Las juntas también se trabajan utilizando sellador elasto-mérico aplicado a mano o a máquina.

Ventajas:

- Se reduce la infiltración.
- Perturbación mínima.
- Material y equipo barato.

Limitaciones:

- Se hace difícil el control de calidad.
- Solo recomendable para alcantarillados estructuralmente fuertes de ladrillo o mampostería.
- Se requieren medidas de seguridad para alcantarillados a los que ingresan operarios.
- Un sobre bombeo es requerido.

Datos técnicos:

- Rango de diámetro: que albergue a los operarios.
- Material de tubería: ladrillo.
- Material de reparación: GRP, GRC, mortero y ferro cemento.

Costos:

Las reparaciones localizadas se utilizan principalmente para reparar alcantarillados. Sus costos se describen a continuación:

El costo capital depende del tipo de reparación a realizar. Las áreas de principal desembolso por su especialización son: equipo para reparaciones puntuales, la plataforma de redondear, el equipo robótico, el equipo de curado, el equipo de corte lateral y el equipo CCTV.

Se incurre en costos de operación al instalar y operar el equipo, además de los operarios necesarios.

Costo de las investigaciones del sitio, para confirmar las condiciones del suelo, el agua subterránea y las investigaciones con CCTV.

Los costos de limpieza de la tubería antes de trabajar en ella.

Costos de sobre bombeo asociados al trabajar con los flujos existentes por el alcantarillado.

Costos de reconexión asociados con los laterales.

Los costos de manejar del tráfico al controlar su fluidez alrededor del lugar de trabajo.

El costo de los materiales utilizados en la reparación, incluyendo cualquier reparación *in situ* e instalación.

CONCLUSIONES

1. La tecnología sin zanjas ha demostrado ser, en los países desarrollados donde se aplica, una herramienta de mucho valor económico y social, ya que los trabajos que implican abrir el terreno y levantar la carpeta de rodadura de las calles o la acera ocasiona molestias mayores imposibles de cuantificar.
2. Con los diferentes métodos planteados en este trabajo y desarrollados a la fecha se pueden realizar tareas de instalación, renovación y reparación de tuberías que prestan los servicios de agua potable, alcantarillado, electricidad, gas y cable televisivo.
3. Las técnicas de construcción basadas en la tecnología sin zanjas son varias y con diferentes fines, por lo que con la presente investigación el lector puede hacerse una idea general de lo que abarca esta nueva forma de construir y utilizarla como guía para determinar que técnica es la que más le conviene.
4. El tema es nuevo en el país y prácticamente desconocido para muchos profesionales de la ingeniería, no digamos para otras personas ligadas o no al tema de los servicios entubados.
5. Las técnicas planteadas dan una opción para realizar trabajos necesarios en los servicios enterrados bajo avenidas o calles importantes sin el consecuente congestionamiento vehicular y molestia a chóferes y peatones.

6. El ornato y el medio ambiente de las ciudades es mejorado ya que no se verán más promontorios de tierra acumulada a orillas de las calles, la suciedad que el excavar provoca, no se dará, tampoco lesiones por caídas en zanjas y las calles ya no se verán parchadas o dañadas por asfalto removido.
7. La utilización de los métodos de construcción sin canales ha resultado ventajoso, rápido y más barato que con los tradicionales trabajos de zanjeo.
8. Con la utilización de estas técnicas, las oportunidades de negocios en áreas comerciales no se pierden, los accesos a hospitales y las salidas de bomberos no son bloqueadas, las pistas aéreas no se vuelven intocables, ni las bases militares restringidas.
9. Líneas extensas de tubería pueden enterrarse rápidamente sin necesidad de abrir el terreno, aspecto que se torna fundamental ahorra que el agua se debe captar en lugares cada vez más lejanos a los centro urbanos.
10. Las instalaciones que hoy se hacen en postes y se tornan desagradables al ornato, se pueden colocar subterráneas ya que servicios de luz, de teléfono, de redes informáticas y de cable televisivo entre otras, se realizan así para comodidad de los vecinos, cosa que se logra con tecnología sin zanjas.
11. Para reparar un desperfecto ya no es necesario cortar y cambiar el tubo, ahora es posible repararlo.

12. Las técnicas de mínima excavación se consideran también parte de la tecnología sin zanjas, dada su reciente aparición y sus características de escaso material cavado.
13. Con el equipo CCTV y los robot de reparación es posible obtener un panorama real de los desperfectos que una línea de tubería posee y por ende darle una solución adecuada y eficiente.
14. Una investigación del sitio y de los servicios entubados existentes en el trayecto de una nueva instalación, con esta tecnología, es imperativa para evitar interferencias y daño a los mismos.
15. El material de la tubería a instalar y el de la tubería existente es importante cuando se diseña algún trabajo, ya que no todos los materiales son adecuados para todas la técnicas.
16. No existe en Guatemala ninguna ley que regule el proceso de construcción con o sin zanjas.

RECOMENDACIONES

1. Se debe profundizar en el conocimiento de cada una de las técnicas planteadas en la presente investigación.
2. Se hace necesario que el gremio de ingenieros civiles plantee al Congreso de la República, una iniciativa de ley, a efecto de regular estos temas relacionados con la construcción sin zanjas.
3. En los cursos que de alguna manera se relacionen con líneas de tubería, de la carrera de ingeniería civil, es necesario implementar en los contenidos el tema de la tecnología sin zanjas.
4. Para lograr un avance real en la introducción de esta tecnología al país es fundamental formar una asociación que sea reconocida y apoyada por la Asociación Internacional de Tecnología sin Zanjas (ISTT por su siglas en inglés).
5. Realizar un estudio de costos comparativo entre el tradicional trabajo de zanjeo y el uso de esta nueva tecnología.

BIBLIOGRAFÍA

1. Asociación internacional de tecnología sin zanjas, ISTT. www.istt.com
2. **Manual de rehabilitación de alcantarillados.** s.l. Editorial WR_c, 1994.
3. Mays, Larry W. **Manual de sistemas de distribución de agua.** España: Editorial McGraw Hill, 2002.
4. **Trenchless technology database. CD-Rom Multimedia.** Londres: The international No-dig, 1996.
5. WJ McDonald y otros. ***An Introduction to Trenchless Technology.*** Estados Unidos: Editorial Van Nostrand Reinhold, 1992.

APÉNDICE A

Ejemplos de la aplicabilidad que la Tecnología sin Zanjas puede tener en Guatemala.

- 1) Supresión de cableado en la entrada a la ciudad colonial de la Antigua Guatemala (patrimonio de la humanidad según UNESCO).

Figura 34. **Entrada a la ciudad de Antigua Guatemala sin cables**



Vista actual de la entrada a la ciudad colonial de la Antigua Guatemala.

Figura 35. **Entrada a la Antigua Guatemala**



- 2) Supresión del cableado y postes de electricidad a 50 metros de la iglesia de San Francisco, donde se encuentran los restos del Santo Hermano Pedro, Antigua Guatemala.

Figura 36. **Iglesia de San Francisco, sin cables**



Vista actual de la iglesia de San Francisco.

Figura 37. **Vista de la iglesia de San Francisco**



- 3) Evitar las molestias durante y luego de reparaciones hechas dentro ciudades.

Figura 38. Trabajadores municipales realizando Zanjas



Consecuencias como: suciedad, riesgo de accidentes, remoción de la capa asfáltica, daño a los vehículos por los baches y montículos de suelo, se ven al realizar reparaciones actualmente.

Figura 39. **Relleno, sin carpeta asfáltica**



En Guatemala únicamente la empresa *RODIO-Swissboring* ofrece actualmente este tipo de Tecnología, la técnica de perforación dirigida específicamente, a un costo, por metro de instalación, de US\$ 90 y 140, dependiendo del tipo de suelo, condiciones de instalación, diámetro y longitud de tubería a instalar.

APÉNDICE B

Nombre, dirección y fax de las asociaciones, alrededor del mundo, reconocidas por la ISTT.

1. La Asociación Australiana para la Tecnología sin Zanjas (ASTT), formada en 1991 y situada en la *629 Newcastle Street, Leederville, Western Australia 60207*. Fax: +61 9 420 3172.
2. La Asociación Austriaca para la Tecnología sin Zanjas (AATT), formada en 1992 y situada en *Postfach 26, Schubertring 14, A-1015 Wien*. Fax: +43 1 513 15 88 25.
3. La Asociación China Taipei para la Tecnología sin Zanjas (CTSTT), formada en 1993 y situada en el No. 29 *Pao-Ching Street*, Taipei, Taiwán, ROC. Fax: 886 2 7626410.
4. La Asociación Checa para la Tecnología sin Zanjas (CZSTT), formada en 1994 y situada en *Belohorska 157, 169 00 Praha 6*, República Checa. Fax: +42 2 357662.
5. La Asociación Francesa para la Tecnología sin Zanjas (FSTT), formada en 1990 y situada en la *72 Avenue Pasteur, 93100 Montreuil*. Fax: +33 1 48 70 99 79.
6. La Asociación Germana para la Tecnología sin Zanjas (GSTT), formada en 1990 y situada en *Hamhung Mece und Congress GmbH, Junguisstrase 13, D-2000, Hamburgo 36*. Fax: +49 40 35 69 23 43.
7. La Asociación Húngara para la Tecnología sin Zanjas (HSTT), formada en 1996 y situada en *Galamb u 4, H-1056 Budapest*. Fax: +361 118 1676.

8. La Asociación Ibérica para la Tecnología sin Zanjas (IBSTT) formada en 1996 y situada en Alenza 1, 28003 Madrid, España. Fax: +34 1344 1615.
9. La Asociación India para la Tecnología sin Zanjas (INDSTT), formada en 1995, situada en *SV Road, Jogeshwari (west)*, Bombay 400 102. Fax: +91 22 2871903.
10. La Asociación italiana para la Tecnología sin Zanjas (IATT), formada en 1995 y situada en ITIM, *Via All'Opera Pia* 15, 16145 Génova. Fax: +39 10 362 3299.
11. La Sociedad Japonesa para la Tecnología sin Zanjas (JSTT), formada en 1989 y situada en *From A Bldg.* 5F, 3-4-12 Shinbashi, Minato-Ku, Tokio 105. Fax: +81 3 3580 3854.
12. La Asociación Holandesa para la Tecnología sin Zanjas (SNT) formada en 1988 y situada en Burg Kerstenlaan 16, 4837 MB Freda. Fax: +31 76653287.
13. La Asociación Norte Americana para la Tecnología sin Zanjas (NASTT), fundada en 1990 y situada en el 435 *North Michigan Avenue*, Suite 1717, Chicago IL 60611-4067. Fax: +1 312 644 8557.
14. La Sociedad Escandinava para la Tecnología sin Zanjas (SSTT), formada en 1991y situada en Box 65 S-370 30 Rodeby, Suecia. Fax: +46 455 40775.
15. La Sociedad Sudafricana para la Tecnología sin Zanjas (SASTT), formada en 1992 y situada en el Po Box 4378, *Halfway House* 1685, Sudáfrica. Fax: +27 11 403 1559.
16. La Asociación Suiza de Tecnología sin zanja (CHSTT), formada en 1993 y situada en Case Postale 238, *Chemin des Croisettes* 22, CH-1066 Epalinges, Lausana, Suiza. Fax: 41 21 653 5748

17. La Asociación Eslovaca de Tecnología sin Zanjas (SVKSTT), formada en 1996 y situada en el 972 01 *Bojnice*, PO Box 6, Mojmirova 14 República eslovaca. Fax: 42 862 33235
18. La Sociedad para la Tecnología sin Zanjas del Reino Unido (UKSTT), formada en 1993 y situada en UMIST PO Box 88, *Dept of Civil y Estructural Engineering Sackville Street*, Manchester M601QD. Fax: +44 161 200 4608.
19. La Asociación Venezolana para la Tecnología sin Zanjas (VSTT), formada en 1996 y situada en PO Box 80915, Caracas 1080-A, Venezuela. Fax: 58 2 976 97 25.

APÉNDICE C

Tablas con información sobre la aplicabilidad de las técnicas expuestas, según el servicio.

Tabla I. **Nueva instalación**

TÉCNICA	AGUA	ALCANTARILLADO	GAS	CABLE
Berbiquí	*	*	*	*
Perforación dirigida	*	*	*	*
Taladro guiado	*	*	*	*
Perforación por impacto	*		*	*
Perforación por surco	*	*	*	*
Zanjeo estrecho	*	*	*	*
Tubería insertada	*		*	*
Taladro por impulso	*	*	*	*
Tubo hidráulico		*		
Micro-tunelar		*		

Tabla II. **Reemplazo en línea**

TÉCNICA	AGUA	ALCANTARILLADO	GAS	CABLE
Come tubo		*		
Reventón neumático	*	*	*	
Reventón hidráulico		*		
Envarillar	*		*	
Rajar la tubería	*		*	
Tirar de la tubería	*		*	

Tabla III. **Reparación y mantenimiento**

TÉCNICA	AGUA	ALCANTARILLADO	GAS	CABLE
Restregado de aire	*			
Estabilización química		*		
<i>Flushing</i>	*			
Limpieza a chorro	*	*		
Sellado de junta		*		
Parchado		*		
Puntual		*		
Redondear		*		
Robótica		*		
Por cerdas	*		*	
Raspado a presión	*			

Tabla IV. **Renovar una línea de tubería**

TÉCNICA	AGUA	ALCANTARILLADO	GAS	CABLE
<i>Die drawing</i>	*	*	*	
<i>Rolldown</i>	*	*	*	
Tubo deformado	*	*	*	
A un tubo de servicio	*			
Deslizable continuo	*	*	*	
Curado en la tubería	*	*	*	
Inconexo		*		
Ferro-cemento		*		
Inserción en vivo			*	
Por segmentos		*		
En espiral		*		
Espray de cemento	*	*		
Espray de resina epóxica	*			
Espray polimérico		*		
Concreto reforzado		*		

ANEXO 1

Equipo necesario para aplicar algunas técnicas de la Tecnología sin Zanjas.

Operarios con ropa especial de protección (guantes, botas y monos de trabajo aislantes), contra impactos eléctricos, dada la posibilidad de colisiones con cableado, por parte de la cabeza tuneladora.

Figura 40. **Equipo de protección**



Fuente: *Trenchless technology database*

Equipo de CCTV (cámara de televisión de circuito cerrado) utilizado para realizar inspecciones y reconocimientos internos, en las tuberías.

- a. Elementos captadores de imagen (cámaras)
- b. Elementos reproductores de imagen (monitores)
- c. Elementos grabadores de imagen
- d. Elementos transmisores de la señal de vídeo
- e. Elementos de control
- f. Videosensores
- g. Mecanismos Pan/Tilt

Figura 41. **Equipo de CCTV**



Fuente: ***Trenchless technology database***

Equipo localizador (ver figura 5). En cualquier caso será imprescindible la utilización de una cabeza de perforación que incorpore un emisor, pues éste es detectado desde la superficie mediante un localizador. Se trata de un radio-detector que pesa unos 2 kilogramos, trabaja con una batería y representa en una pantalla de LCD los ángulos de inclinación y de balance, profundidad y temperatura de la herramienta, calculando continuamente, la distancia entre el emisor y el localizador y supervisando la desviación a izquierda o derecha de la trayectoria de la perforación. De esta forma, la aplicación de estos receptores hacen el trabajo fino de proveer la información requerida por el operador de la tunelera para dirigir la pista, pudiendo variar o corregir el trazado (profundidad y dirección) prefijado, rotando la cabeza para subir, bajar o desviarse en forma lateral.

Las principales informaciones recogidas por el localizador se representan en la pantalla de LCD, como una esfera de reloj de 12 segmentos que indica el ángulo de balance de la herramienta, mientras que el ángulo de la inclinación se visualiza con flechas y un porcentaje expresado en números.

De esta manera, aunque hay otras señales que indican por ejemplo la temperatura del taladro, la profundidad y la dirección son las informaciones primordialmente básicas que visualizan todos los receptores que ayudan a “guiar” al operador de la tunelera; aunque esta señal (o campo magnético producido por un emisor dentro de la traza del taladro que el receptor interpreta como profundidad y dirección) está permanentemente expuesta a interferencias, especialmente porque la mayoría de las perforaciones ocurre en áreas urbanas.

Por esto, y aunque los radio-detectores trabajan con valores de frecuencia ajustables, algunos de los efectos posibles de interferencias en un receptor son el bloqueo de la información o lecturas erráticas de la fuerza de la señal, que pueden conducir a errores en los cálculos de la profundidad y dirección del taladro.

Por lo tanto, más allá de la información suministrada por organismos oficiales, empresas de servicios y el mismo localizador, jamás debe asumirse la inexistencia de obstáculos subterráneos simplemente porque en la superficie no haya evidencias o marcas.

ANEXO 2

Especificaciones de maquinaria.

Perforación dirigida:

Actualmente en los Estados Unidos trabaja un equipo por cada 37.500 habitantes. Para aplicarlo en forma masiva sólo hace falta que alguien con poder de decisión analice las ventajas, compare los sistemas y los costos finales.

Los diámetros y longitudes que se pueden alcanzar dependen de varios factores: tipo de suelo, diámetro y material de la tubería, longitud del cruce, tipo de interferencia, profundidad o tapada. De todas maneras, la variación de precios se produce básicamente de acuerdo a dos factores: el diámetro de la tubería (cuando es muy grande, la tunelera deberá trabajar más tiempo para ensanchar el túnel) y la cantidad de metros, que requerirá mayor costo de reposicionamiento de equipos.

Los equipos responden a los siguientes parámetros (excepto el PL8000): la primera cifra es la fuerza de tiro del equipo en miles de libras y la segunda, el torque en centenas de libras por pie.

La gama de los pequeños comprende el citado PL8000, una plataforma para ubicar en el pozo de lanzamiento y los modelos auto-contenidos D7x11A y D7x11A QS (versión especial para instalaciones domiciliarias), el D10x15 y el D16x20A. El PL8000, el D7x11A y el D7x11A QS, están orientados a la instalación de servicios de hasta 100 mm de diámetro en distancias de hasta 50 metros.

En estos equipos la carga de las barras se debe realizar en forma manual. El D7x11A QS tiene las siglas que lo diferencian de su hermano de igual nombre y significan “tiro rápido” (“*quick shot*”, en inglés); posee un sistema de cabeza perforadora que aloja una sonda de la mitad de tamaño que las habituales. Los dos restantes, D10x15 y D16x20A, pueden instalar servicios de hasta 250 mm y unos 120 m de longitud y poseen cargador de barras automático.

Los equipos medianos son equipos con una estructura más robusta, todos tienen una capacidad mínima de 150 m de barras y están diseñadas para soportar el mayor torque al que están sometidas por los trabajos que ejecutan. El menor es el D24x26, lo sigue el D24x40A, la más popular de las tuneleras Vermeer y el D33x44 (presentado a principios de 2000), que es el primer modelo con el sistema de piñón y cremallera en el carro alimentador de las barras.

Una característica de este sistema es el mantenimiento prácticamente nulo. El D33x44 posee un sistema de palancas de mando, con los cuales se

pueden realizar las operaciones habituales de empuje/tiro y enroscado/desenroscado de las barras y unos interruptores para las mordazas de desajuste de las barras, régimen del motor y operación de los fluidos de perforación. Con sólo presionar un interruptor opcional, conectando un radio transmisor, permite la comunicación con el operador que controla la ubicación de la cabeza; todos ellos al alcance de los dedos.

Los equipos grandes incluyen al D40x40, con barras para 228 m de perforación sin necesidad de poner adicionales, el D50x100A y el más reciente, el D80x120. Para este último modelo se tomó como plataforma el D33x44, se utilizó el mismo sistema de piñón y cremallera y se diseñaron barras de 6 m (20 pies) de longitud.

La línea de equipos grandes posee un sistema denominado NAVTEC, para facilitar la perforación mediante la selección de parámetros de presión de empuje o tiro y de posición de la cabeza perforadora. Todos tienen tres velocidades de rotación de las barras y, por el caudal de sus bombas de alimentación, pueden utilizar perforadores para terrenos rocosos movidos por los fluidos de perforación.

Las barras de perforación *Firestick* son un diseño exclusivo de Vermeer; están realizadas en una sola pieza de aleación especial, que le brinda a la barra una muy buena flexibilidad y le permite mantener su geometría inicial a pesar de las exigencias del trazado. El diámetro interior permite un máximo caudal de fluidos, sin resignar resistencia.

Los sistemas de fluidos son una parte esencial en la perforación. Hay distintos modelos que cubren las necesidades de toda la línea con tanques unitarios o acoplados y con sistemas de alta presión para terrenos más duros. Las capacidades de los tanques son de 130 galones (492 l), 300 galones (1135 l), 500 galones (1892 l) y 750 galones (2835 l), pudiéndose acoplar este último para totalizar 1,500 galones (5670 l).

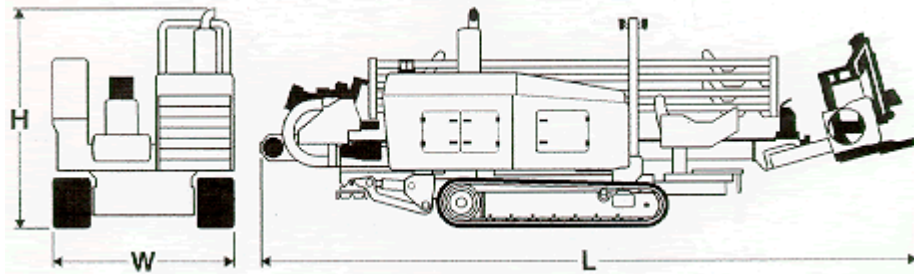
Cuando se mencionó la posibilidad de utilizar motores accionados por el fluido de perforación, se debe mencionar aparte el sistema de perforación para roca AS6 *Rockfire*, otro desarrollo exclusivo para terrenos rocosos. Este sistema consta de una cabeza perforadora que se activa mediante un compresor neumático y no utiliza los fluidos de perforación tradicionales, sino que utiliza una mezcla de detergentes con líquido biodegradable, que posee una gran capacidad de arrastre de los restos de perforación. Los volúmenes que se utilizan son considerablemente menores que los fluidos de perforación, para túneles de dimensiones similares.

Los equipos D33x44 y mayores vienen de serie preparados para utilizar el sistema. En el D24x40A se debe realizar una adaptación para la utilización del mismo. Inicialmente se presentó la versión para perforar diámetros de 15 cm y recientemente se ha lanzado la versión de 10 centímetros.

El equipo *Ditch Witch* JT 4020 es uno de los más novedosos, potentes del mercado y con capacidad para perforaciones de 600 mm. de diámetro y hasta 300 m. de longitud, según terrenos, pudiendo realizar cualquier trabajo de perforación horizontal dirigida.

Tabla V. Especificaciones técnicas de una Witch 4020

PERFORADORA HORIZONTAL DIRIGIDA DITCH WITCH 4020



DIMENSIONES

	U.S.	MÉTRICA
Longitud	300"	7,6 m
Anchura	87"	2,2 m
Altura	96"	2,4 m
Peso	24,000 lb	10.886 kg

VARILLA DE PERFORACIÓN:

Longitud	178.11"	4,5 m
Diámetro de unión	3.25"	83 mm
Diametro de tubo	2.56"	65 mm
Radio mínimo de curva	150 pies	46 m
Peso	135 lb	62 kg

DATOS OPERATIVOS:

Vel. de rotación nominal	140 rpm	140 rpm
Vel. de rotación, max.	250 rpm	250 rpm
Par máximo de rotación	5000 ft.lb	6800 N.m
Par nominal	4000 ft.lb	5400 N.m
Velocidad de carro	110 fpm	33,6 m/min
Tiro	40,000 lb	178 kN
Empuje	36,000 lb	160 kN
Diámetro de guía	"	mm
Diámetro de escariado (función del tipo „ de suelo)		mm

Velocidad desplazamiento (hacia delante)	0-3 mph	4,8 km/h
Velocidad desplazamiento (hacia atrás)	0-3 mph	4,8 km/h
Caudal de fluido de perforación	70 gpm	265 L/min

GRUPO MOTOR

Motor:	<i>John Deere</i> 6068TF150 (Turbo-comprimido)
Combustible:	<i>gasoil</i>
Medio de refrigeración:	agua
Número de cilindros:	6

	U.S.	METRICA
Cilindrada	414"³	6,8 L
Diámetro	4.19"	106 mm
Carrera	5.00"	127 mm
Potencia max @ 2500 rpm	170 hp	127 kW
Velocidad max. de giro	2500 rpm	2500 rpm
Potencia continua (@ 2500 rpm)	153 hp	114 kW

VOLUMEN DE FLUIDOS

Depósito de combustible	55 gal	208 L
Depósito hidráulico	36 gal	136 L
Aceite de motor, incluido filtro	20 qt	19 L

BATERÍA

Capacidad de reserva SAE	120 mins
SAE en frío @ 0°F (-18°C)	800 amps

Fuente: **Trenchless technology database**

Modelo	12	16	20	24	30	36	
Motor HP/type	Motor hidráulico de Danfoss	16HP/gas	18HP/gas	30HP/diesel	45HP/diesel	67.5HP/diesel	110HP
Transmisión	Adelante/1reversa hidráulico	3 velocidades adelante/1reversa	3 velocidades adelante/1reversa	3 velocidades adelante/1reversa	4 velocidades adelante/1reversa	4 velocidades adelante/1reversa	velocidades adelante/1reversa
Empuje (normal)	25.000 libras.	30,000#	44,000#	84,000#	170,000#	300,000#	750,000#
Empuje (intermitente)	30.000 libras.	35,000#	51,000#	100,000#	200,000#	350,000#	900,000#
La elevación más pesada	380 libras.	1,060#	1,200#	2,790#	3,250#	3,980#	10,000#
Velocidades del taladro, aproximadamente.	0 a 80 RPM	los 80rpm	los 80rpm	los 65rpm	los 65rpm	los 65rpm	los 50rpm
Emergencia cierre	--	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	
Línea central	el 11" 279.4m m	13-1/2 " 342.9m m	13-1/2 " 342.9m m	18-1/2 469.9m m	el 22" 558.8m m	25-1/2 " 647.7m m	e 838.2m m
Longitud de la pista	6' std. más extensión 3'	9' los 2.74m	9' los 2.74m	10' los 3.05m	10' los 3.05m	10' los 3.05m	los 3.05m
Impulsión	1-5/8 "tuerca hexagonal 41.3m m	1-5/8 "o 2-1/4" 41.28m m 57.15m m	1-5/8 "o 2-1/4" 41.28m m 57.15m m	2-1/4 " 57.15m m	el 3" 76.2m m	el 3" 76.2m m	el 3" 76.2m m
Altura	el 28" 711.2m m	el 34" 863.6m m	el 34" 863.6m m	el 48" 1219.2m m	el 52" 1320.8m m	el 58" 1473.2m m	e 1651.8m m
Longitud	el 72" 1.82m m	108" los 2.74m	108" los 2.74m	120" los 3.05m	120" los 3.05m	120" los 3.05m	los 3.05m
Anchura	el 24" 609.6m m	el 26" 660.4m m	el 26" 660.4m m	el 34" 863.6m m	el 38" 965.2m m	el 44" 1117.6m m	e 1677.8m m
Peso, aproximadamente.	480 libras.	1,322#	1,458#	3,800#	6,500#	7,800#	19,000#

Zanjeo estrecho.

Tabla VII. Especificaciones básicas: cadenas zanjeadoras (pedestre)

Manufactura / modelo	Caballos de poder (bruto)	Peso en operación (lbs.)	Profundidad Max. de zanja	Rango de anchura	Unidad de zanjeo	
Ground Hog T-4	5	230	1' 0"	3.0" - 3.5"	Mecánica	
Vermeer RT60	6	270	1' 0"	3" - 3"	Mecánica	
Parsons T80	8	640	2' 6"	4" - 6"	Mecánica	
<i>Ditch Witch</i> 1030	11	780	2' 6"	4.3" - 6"	Mecánica	
Parsons T120	11	640	3' 0"	4" - 6"	Mecánica	
Vermeer V1150	11	850	2' 6"	4" - 6"	Mecánica	
Burkeen B-13	12	820	3' 0"	4" - 6"	Mecánica	
Barreto 1318-H	13	860	2' 6"	4" - 6"	Hidráulica	
Barreto 1324D	13	1,025	3' 0"	4" - 6"	Hidráulica	
Barreto 1324D4	13	1,075	3' 0"	4" - 6"	Hidráulica	
Case 60	13	720	3' 0"	4" - 6"	Mecánica	
<i>Ditch Witch</i> 1230	13	780	3' 0"	4.3" - 6"	Mecánica	
<i>Ditch Witch</i> 1330	13	920	3' 0"	4.3" - 6"	Hidráulica	
Parsons T130	13	700	3' 0"	4" - 6"	Mecánica	
Vermeer V1350	13	850	3' 0"	4" - 6"	Mecánica	
Vermeer RT100	15	880	3' 0"	4" - 6"	Hidroestática	
Barreto 1624D	16	1,025	3' 0"	4" - 6"	Hidráulica	
Barreto 1624D4	16	1,075	3' 0"	4" - 6"	Hidráulica	
Burkeen B-16	16	1,290	4' 0"	4" - 6"	Hidroestática	
<i>Ditch Witch</i> 1820	18	1,300	4' 0"	3.3" - 16"	Mecánica	
Vermeer RT200	23	1,485	4' 0"	4" - 8"	Hidroestática	
Vermeer LM25	25	2,570	3' 0"	4" - 6"	Hidráulica	
Vermeer LM42	45	3,335	3' 6"	4" - 6"	Hidráulica	

Fuente: **Trenchless technology database**
Especificaciones básicas:

Tabla VIII. Cadenas zanjeadoras (vehículo) menores de 100 Hp

Manufactura/Modelo	Caballos de poder (bruto)	Peso en ropiedad (lbs.)	Profundidad Max. De zanja	Rango de anchura	Unidad de zanjeo
Case TF300B	18.5	2,315	3' 9"	4" – 16"	Mecánica
Burkeen B-25	25	2,290	3' 0"	4" – 6"	Hidráulica
<i>Ditch Witch</i> HT25	25	4,080	3' 3"	4" – 16"	Mecánica
Case 360	32	3,906	5' 0"	6" – 12"	Mecánica
Case 460	37	5,660	5' 0"	6" – 16"	Hidrostática
Case Maxi-Sneaker C	37	2,346	3' 0"	4" – 6"	Hidráulica
<i>Ditch Witch</i> 3610	45	3,765	5' 0"	0" – 16"	Mecánica
<i>Ditch Witch</i> 3700	45	5,425	4' 4"	6" – 12"	Hidrostática
Vermeer V4150A	45.3	5,640	5' 0"	5" – 16"	Hidrostática
Burkeen B-36B	49.5	4,600	5' 0"	6" – 12"	Hidrostática
<i>Ditch Witch</i> 3700CD	50	4,200	5' 3"	6" – 12"	Hidrostática
Vermeer RT450	50	3,350	5' 0"	5" – 12"	Hidrostática
Case 560	51	7,000	6' 0"	6" – 16"	Hidrostática
<i>Ditch Witch</i> 5700	57	n/a	5' 2"	6" – 12"	Hidrostática
Vermeer V5750	60	6,300	5' 0"	6" – 16"	Hidrostática
Vermeer V5800	60	13,565	5' 0"	7" – 16"	Mecánica
Case 660	67	11,219	6' 0"	6" – 16"	Hidrostática
Vermeer V6500	67	8,570	5' 0"	6" – 18"	Mecánica
<i>Ditch Witch</i> RT70 Hidrostática	70	n/a	8' 1"	24" – 24"	Hidrostática
<i>Ditch Witch</i> RT70 Powershift	70	10,770	8' 1"	24" – 24"	Powershift
Vermeer RT700	70	10,050	6' 0"	6" – 16"	Hidráulica
Vermeer Flextrak 75	79	8,700	5' 0"	6" – 12"	Hidrostática
Vermeer V8100	80	12,395	5' 0"	6" – 18"	Mecánica
<i>Ditch Witch</i> RT90 Hidrostática	85	n/a	8' 1"	24" – 24"	Hidrostática
<i>Ditch Witch</i> RT90 Powershift	85	11,830	8' 1"	24" – 24"	Powershift
Vermeer RT850	85	10,050	6' 0"	6" – 16"	Hidráulica
Vermeer V8550A	90	11,783	5' 0"	6" – 18"	Hidrostática
Case 960	99	16,000	7' 0"	7" – 18"	Hidrostática

Fuente: **Trenchless technology database**

Reventar la tubería

Se tiene una amplia gama de opciones de material de reemplazo, Polietileno, PVC, fibras de vidrio, y algunos otros tipos de tuberías se han

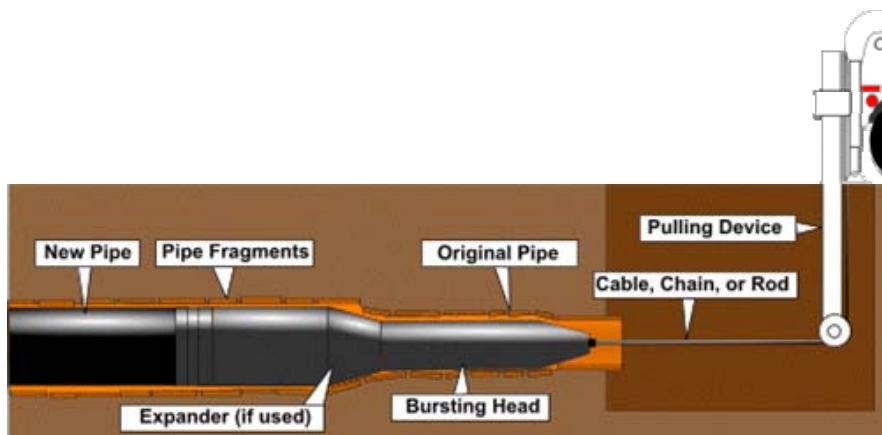
utilizado exitosamente. A la nueva tubería se le conocen sus propiedades físicas y su vida de servicio. No es necesario preocuparse por la química del suelo, ni por la fatiga al reducir o reformar el tubo.

La cabeza estática, no tiene parte internas con movimiento. La cabeza simplemente se empuja por la tubería vieja gracias al gran peso del dispositivo de empuje.

La cabeza neumática, utiliza aire comprimido para avanzar y reventar la tubería vieja. Un pequeño dispositivo de empuje guía la cabeza.

La cabeza hidráulica, diseñada para tuberías de hierro, se expande conforme avanza por la tubería, reventándola junto a las pesadas juntas.

Figura 42. **Cabeza reventadora**








Fuente: **Trenchless technology database**

Limpieza por Cerdas




Distintos tipos de cerdas disponible en el mercado.

Tabla IX. **Serie municipal**

Apariencia	código	Densidad	Descripción
	B1	$\frac{1-2 \text{ lbs. pie cúbico}}{(16-32 \text{ Kg/M}^3)}$	Probador; Barredor; Sellador
	B2*	$\frac{1-2 \text{ lbs. pie cúbico}}{(16-32 \text{ Kg/M}^3)}$	limpiador
	B3	$\frac{5-7 \text{ lbs. pie cúbico}}{(80-112 \text{ Kg/M}^3)}$	Limpiador; Medidor
	B4*	$\frac{5-7 \text{ lbs. pie cúbico}}{(80-112 \text{ Kg/M}^3)}$	Limpiador
	B5*	$\frac{5-7 \text{ lbs. pie cúbico}}{(80-112 \text{ Kg/M}^3)}$	Raspador


Fuente: **Trenchless technology database**

Tabla X. **Serie de aplicaciones especiales**

Apariencia	código	Densidad	Descripción
	PB	$\frac{8-10 \text{ lbs. pie cúbico}}{(128-160 \text{ Kg/M}^3)}$	Máximo raspador
	CPB	$\frac{8-10 \text{ lbs. pie cúbico}}{(128-160 \text{ Kg/M}^3)}$	Cepillado
	RXSS	$\frac{5-7 \text{ lbs. pie cúbico}}{(80-112 \text{ Kg/M}^3)}$	Limpieza moderada

Fuente: **Trenchless technology database.**


Tabla XI **Serie industrial**



Apariencia	Código	Densidad	Descripción
	C3	$\frac{8-10 \text{ lbs. pie cúbico}}{(128-160 \text{ Kg/M}^3)}$	Secador

	C4*	<u>8-10 lbs. pie cúbico</u> (128-160 Kg/M ³)	Limpiador
	C5*	<u>8-10 lbs. pie cúbico</u> (128-160 Kg/M ³)	Raspador
	C6*	<u>8-10 lbs. pie cúbico</u> (128-160 Kg/M ³)	Lustrador
	RX3	<u>5-7 lbs. pie cúbico</u> (80-112 Kg/M ³)	Secador
	RX4*	<u>5-7 lbs. pie cúbico</u> (80-112 Kg/M ³)	Limpiador
	RX5*	<u>5-7 lbs. pie cúbico</u> (80-112 Kg/M ³)	Raspador
	RX6*	<u>5-7 lbs. pie cúbico</u> (80-112 Kg/M ³)	Raspador
	G1	<u>1-2 lbs. pie cúbico</u> (16-32 Kg/M ³)	Secador
	G2*	<u>1-2 lbs. pie cúbico</u> (16-32 Kg/M ³)	Limpiador
	G6*	<u>1-2 lbs. pie cúbico</u> (16-32 Kg/M ³)	Raspador

Fuente: **Trenchless technology database**

Tabla XII. **Accesorios disponibles**

	Estampado giratorio	Proporcionan mayor desgaste en muchas aplicaciones
---	---------------------	--

	Lazo	Para cargarla; jalarlog
	Plato doble	Removedor de líquidos; dirección bi-direccional
	Doble nariz	Bi-direccional
	Cavidad	Para albergar transmisor electrónico

Fuente: **Trenchless technology database**

